

Matias Orkamo

Uusiutuvan energian nykytila ja omavarais- sähkön kehittäminen Helsingissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

10.5.2016

Tekijä Otsikko	Matias Orkamo Uusiutuvan energian nykytila ja omavaraissähkön kehittäminen Helsingissä
Sivumäärä Aika	51 sivua 10.5.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	lehtori Hanna Stammeier
<p>Insinööritöiden tavoitteena oli perehtyä energiantuotannon ja uusiutuvan energian nykytilanteeseen maailmalla ja Suomessa eri näkökulmista sekä selvittää minkälaisia potentiaaleja omavaraissähköntuotantoon liittyy Helsingissä. Tarkasteltavaksi omavaraissähkön muodoksi on otettu aurinkosähkö. Potentiaalinen kartoituksen on tarkoitus palvella apuna aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuslaskelmissa osana investointia kiinteistökohtaiseen aurinkosähköön Helsingin alueella.</p> <p>Työtä varten on tutkittu kotimaista ja ulkomaista kirjallisuutta sekä verkkojulkaisuja jonka lisäksi on hyödynnetty Helsingin kaupungin tarjoamia palveluita, kuten aurinkosähkökarttaa. Tavoitteena oli luoda uusiutuvasta energiasta laaja ja ajantasainen kokonaiskuva sekä omavaraissähkön potentiaalista Helsingin alueella suuntaa antava, mutta kuitenkin hyödynnettävissä oleva selvitys.</p> <p>Lopputulos on ajantasainen katsaus energiantuotantoon ja uusiutuvaan energiaan. Omavaraissähköntuotannon selvitys on suuntaa antava, mutta uskon, että se voi olla hyödynnettävissä osana helsinkiläisen kiinteistönomistajan investointia omavaraissähköön.</p>	
Avainsanat	energiantuotanto, uusiutuva energia, aurinkosähkö

Author Title	Matias Orkamo Renewable energy and development of self-sufficient electricity in Helsinki
Number of Pages Date	51 pages 10 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor	Hanna Stammeier, Senior Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to survey the current state of energy production and renewable energy in Finland and worldwide, as well as the potential of self-sufficient electricity in Helsinki. Ultimately, the target was to create a comprehensive and up-to-date overview of renewable energy, and a rough, but still exploitable study of the potential of self-sufficient electricity in Helsinki. For the project, both domestic and foreign literature and web publications were studied. Furthermore, the services of city of Helsinki, such as the photo-voltaic map were used.</p> <p>The outcome of the project is an up-to-date overview of energy production and renewable energy, and a review of energy production in Helsinki and a study of the potential of self-sufficient energy in city area. The study of the potential of self-sufficient electricity is still draft-like, but it can still be exploited as a part of the evaluation of investment in self-sufficient electricity by real estate owners in Helsinki.</p>	
Keywords	energy production, renewable energy, solar power

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Energiantuotanto ennen ja nyt	2
2.1	Miten energiaa tuotetaan?	2
2.1.1	Keskitetty energiantuotanto	3
2.1.2	Hajautettu energiantuotanto	4
2.2	Energiantuotannon historia	5
2.3	Tulevaisuuden näkymät	7
3	Uusiutuva energia	8
3.1	Uusiutuva energia Suomessa	9
3.1.1	Suomen energia- ja ilmastostrategia	10
3.1.2	Valtiollinen tuki	11
3.1.3	Uusiutuva energia työllistäjänä	12
3.2	Uusiutuva energia maailmalla	13
3.2.1	Kiina	13
3.2.2	Yhdysvallat	14
3.2.3	Brasilia	15
3.2.4	Saksa	15
3.2.5	Mitä opittavaa Suomella on?	16
4	Maa- ja geoterminen energia	16
4.1	Maalämpö	17
4.1.1	Maalämmön hyödyntäminen	17
4.1.2	Maalämpöpumppu	18
4.2	Geoterminen energia	19
5	Tuulivoima	19
5.1	Yleisesti tuulivoimasta	19
5.2	Tuulivoimalat	21
6	Aurinkoenergia	22
6.1	Aurinkolämpö	23
6.1.1	Tasokeräin	24
6.1.2	Tyhjiöputkikeräin	25

6.2	Aurinkosähkö	26
6.2.1	Aurinkokenno	26
7	Energia Helsingissä	27
7.1	Energiantuotanto kaupungin alueella	28
7.2	Hiilidioksidipäästöt	30
7.3	Tulevaisuus	30
7.3.1	Kestävän energiankäytön toimenpideohjelma	30
7.3.2	Helsingin Energian toimenpiteet	31
8	Omavaraissähkö Helsingissä	32
8.1	Kaavoituksen vaikutus	32
8.2	Aurinkosähkön potentiaali	32
8.3	Potentiaalin tarkastelu	37
8.4	Esimerkkejä omavaraissähkön hyödyntämisestä Helsingissä	38
8.4.1	Sörnäisten Tukkutori	38
8.4.2	Viikin ympäristötalo	40
8.4.3	Ilmatieteen laitos, Kumpula	41
9	Yhteenveto	43
	Lähteet	44

1 Johdanto

Uusiutuvan energian käyttö energiantuotannossa on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla. Valtiot ja valtioliitot ovat tehneet poliittisia päätöksiä uusiutuvan energian käytön kasvattamiseksi ja siirtymiseksi hiljalleen fossiilisten polttoaineiden käytöstä kohti uusiutuvia. Tämä on välttämätöntä fossiilisten polttoaineiden varantojen pienenemisen ja myös ilmastonmuutoksen hidastamisen vuoksi. Myös Suomi on mukana EU:n laatimissa päästövähennystavoitteissa oman energia- ja ilmastostrategiansa kautta. Polittisilla päätöksillä vaikutetaan energiantuotantoon pääasiassa valtion mittakaavassa, eli käytännössä voimalaitostasolla.

Voimalaitosten lisäksi myös uusiutuvan energian omatuotanto on kasvussa, ja nykyisillä kiinteistökohtaisilla järjestelmillä voidaan päästä säästöihin myös taloudellisesti. Kiinteistönomistaja voi laskea rakennuksensa energiapäästöjä ja -kustannuksia esimerkiksi maalämpöpumpun avulla. Myös aurinkovoima on tullut yhdeksi täydentäväksi energiantuotannon vaihtoehdoksi kiinteistöissä.

Työn tavoitteena on selvittää uusiutuvan energian nykytilaa maailmalla ja Suomessa eri näkökulmista sekä tutkia kiinteistökohtaiseen omavaraissähköön liittyvää potentiaalia Helsingissä. Tarkasteltavaksi omavaraissähkön muodoksi on otettu aurinkosähkö. Tarkoituksena on luoda suuntaa antava malli aurinkosähköjärjestelmien todellisen vuosituotantotehon laskennan pohjaksi. Tässä työssä ei keskitytä aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuden tarkasteluun.

2 Energiantuotanto ennen ja nyt

Maapallon energiankulutus on kasvanut yli 100-kertaiseksi viimeisen kahdensadan vuoden aikana. Nopea teollistuminen 1800-luvulla nosti energiankulutuksen rajuun kasvuun teollisuudessa, liikenteessä ja rakennuksissa. Samaan aikaan myös maailman väestö on kasvanut n. seitsenkertaiseksi yhdestä miljardista seitsemään miljardiin ihmiseen, ja kasvaa edelleen, joten myös maapallon kokonaisenergiatarve kasvaa jatkuvasti. Energiankäyttö ei kuitenkaan ole jakautunut tasaisesti, vaan suurin osa energiasta tuotetaan ja käytetään teollisuusmaissa. Kun vuonna 1820 ihmiskunta kulutti energiaa n. 21 gigajoulea henkilöä kohti vuodessa, on 2000-luvulla kulutus ollut n. 80 gigajoulea henkilöä kohden, eli energiankulutus henkilöä kohden ei kasva samaa tahtia kuin maailman väestö. [1]

Primäärienergian lähteet voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan: uusiutumattomiin eli fossiilisiin polttoaineisiin, uusiutuviin energianlähteisiin sekä ydinvoimaan. Fossiilisiin polttoaineisiin lasketaan kivihiili, öljy, maakaasu ja turve. Uusiutuvalla energialla taas tarkoitetaan maapallon luonnollisista prosesseista lähtöisin olevaa, käytännössä loppumatonta energiaa. Vuonna 2013 energian loppukäytöstä maailmassa 78,3 prosenttia tuotettiin fossiililla polttoaineilla, 19,1 prosenttia uusiutuvilla sekä 2,6 prosenttia ydinvoimalla. [2, s. 27.]

Arvioiden mukaan fossiiliset polttoaineet tulevat loppumaan maapallolta 2200-luvun puoliväliin mennessä. Lisäksi niiden poltto aiheuttaa hiilidioksidi-, metaani- ja dityppioksidipäästöjä, eli ns. kasvihuonekaasuja, joiden ilmastoa rasittavaan vaikutukseen on herätty vasta 1900-luvun jälkimmäisellä puoliskolla. Kasvihuonekaasujen vaikutusta pidetään kaikkein merkittävimpinä ilmastomuutoksen eli ilmaston lämpenemisen syynä, ja kolme neljäsosaa kasvihuonekaasuista johtuu fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Näistä syistä fossiilisia polttoaineita on pyritty korvaamaan vaihtoehtoisilla energiamuodoilla, ja etenkin uusiutuvan energian merkitystä pidetään suurena ilmastomuutoksen hillitsemisessä ja energiavarojen riittävyyden turvaamisessa. [3; 4.]

2.1 Miten energiaa tuotetaan?

Muutettaessa primäärienergianlähteistä ihmiskunnan käyttöön soveltuvaa ns. sekundääristä energiaa puhutaan energiantuotannosta. Nimi on harhaanjohtava, sillä

energiaa ei voida tuottaa, vaan ainoastaan sen olomuotoa voidaan muuttaa. Sekundääristä energiaa tuotetaan voimalaitoksissa, jotka voivat olla joko sähkö-, lämpö- tai yhteistuotantolaitoksia. Yhteistuotantolaitoksilla päästään parhaaseen hyötysuhteeseen, sillä sähköntuotantoprosessissa syntyvä hukkalämpö hyödynnetään joko kaukolämpönä yhdyskuntien lämmittämiseen tai teollisuudessa. Sähkön erillistuotantolaitoksen eli lauhdevoiman hyötysuhde on yleensä alle 35–45 prosenttia, kun se yhteistuotantolaitoksissa on n. 75–85, joskus jopa yli 90 %. Lisäksi lämpöä tuotetaan erillislaitoksissa, eli ns. lämpökeskuksissa, joita voidaan ottaa tarpeen vaatiessa käyttöön kovilla pakkasilla, jos ei yhteistuotantolaitoksissa tuotettu kaukolämpö riitä koko kaupungin lämmittämiseksi. Lämmön erillistuotannon hyötysuhde on n. 80–90 % [5, s. 7; 6.]

Energiantuotanto on ihmisen toiminnan suurimpia päästöjen aiheuttajia, ja lisäksi maailman energiantarve kasvaa jatkuvasti. Sen vuoksi tarvitaan uusia energiantuotantotapoja, jotta tarvittava määrä energiaa pystytään tuottamaan myös tulevaisuudessa.

2.1.1 Keskitetty energiantuotanto

Keskitetyllä energiantuotannolla tarkoitetaan tuotantotapaa, jossa energia tuotetaan isoissa voimalaitoksissa kaukana kuluttajista. Voimalaitoksilta energia siirretään sähkö- ja kaukolämpöverkkoa pitkin kuluttajille. Keskitetyssä mallissa tuotantolaitokset käyttävät polttoaineenaan pääasiassa uusiutumatonta energiaa. Keskitetyn mallin voimalaitosratkaisuja ovat esimerkiksi suuret yhteistuotanto- ja kaukolämpölaitokset, ydinvoimalat ja tuulivoimapuistot. [7; 8.]

Nykyisessä energiantuotannossa nojataan vahvasti keskitettyyn tuotantoon Suomessa ja maailmalla. Taloudellisesti keskitetyn tuotannon etuna on suuruuteen liittyvä taloudellisuus voimalaitoksen investoinnissa ja käytössä, sillä suurten tuotantomäärien kautta yksikkökustannukset muodostuvat pienemmiksi. Sen vahva asema perustuu lisäksi pitkän ajan kokemuksiin keskitetystä energiantuotannosta, jonka ansiosta syntyvät kustannukset samoin kuin isojen voimalaitosten teknologia on hyvin tunnettua ja pitkälle optimoitua. Lisäksi tuotantolaitokset, jakeluverkko ja muu infrastruktuuri on muodostunut keskitetyn tuotantomallin lähtökohdista, samoin kuin mm. energialainsäädäntö, liiketoimintamallit sekä tietorakenteet. Keskitetyn tuotannon kohdalla voidaankin puhua ns. *polkuriippuvaisuudesta*, tarkoittaa sitä, miten historiassa

tehdyt valinnat energiantuotantoon liittyen rajoittavat ratkaisuja, joita tulevaisuuden suhteen voidaan tehdä. [7, s. 15; 9; 10, s. 4; 11.]

Keskitetty energia tuketutuu usein Suomen rajojen ulkopuolelta tuotaviin fossiilisiin polttoaineisiin, kuten kivihiileen, maakaasuun tai ydinpolttoaineena käytettävään uraaniin. Suurimpina haittapuolina mallissa on energiaverkoissa aiheutuva hävikki sekä energiahuollon nojaaminen suuriin yksiköihin ja tuontien energiaan, jotka aiheuttavat haavautuvuusriskin esimerkiksi voimalaitoksen vikatilanteessa. [10, s. 5.]

2.1.2 Hajautettu energiantuotanto

Hajautetulla energiantuotannolla tarkoitetaan sähkön ja lämmön pientuotantoa, jossa tuotantolaitokset sijaitsevat kulutuspisteiden lähellä. Hajautetulla tuotannolla ei ole yksiselitteistä määritelmää; sillä voidaan tarkoittaa pieniä ja laajalle levittyneitä sähkön- ja lämmöntuotannon yhteistuotantolaitoksia, erilaisten energianlähteiden yhdistelmää tai rakennuksiin integroitua energiantuotantoa. Kuitenkin määrittävä tekijä hajautetulle tuotannolle on, että energia tuotetaan kulutuspisteiden lähellä paikallisesti, paikallinen energiantarve korostuen, valtakunnallisen kantaverkon merkityksen pienentyessä. Hajautettu energiantuotanto eroaakin keskitetystä merkittävästi myös siten, että sähkön pientuottaja voi syöttää tuottamaansa sähköä yleiseen sähköverkkoon, toisin kuin keskitetyssä tuotannossa, jossa sähkö kulkee kantaverkossa vain yhteen suuntaan. Tämä muuttaa sähköverkon luonnetta isojen voimalaitosten jakeluverkosta siirtoverkoksi, josta sekä otetaan sähköä omaan käyttöön että syötetään omaa tuotantoa. [7]

Vaikka hajautettu energiantuotanto ei käsitteenä tarkoita ekologista tuotantoa, on siinä keskeisiä energianlähteitä mm. aurinkoenergia, tuulivoima sekä maalämpö. Kuitenkin myös fossiilisia polttoaineita käyttävät laitokset voivat olla osa hajautettua tuotantoa, vaikka hajautetussa tuotannossa pyritään suosimaan uusiutuvia energianlähteitä. Uusiutuvan energian käytön lisääntyessä myös hajautettu tuotanto lisääntyy, sillä uusiutuvat energianlähteet ovat levittyneet maantieteellisesti laajasti ja ovat luonteeltaan paikallisesti hyödynnettäviä. Sen takia uusiutuvan energian ja hajautetun tuotannon lisääminen kulkevat käsi kädessä. [7; 8.]

Hajautettua energiantuotantoa pidetään keinona vaikuttaa energia- ja ilmasto-ongelmiin. Sen edut ovat paitsi uusiutuvan energian myötä vähenevät kasvihuonepäästöt, myös

energiaomavaraisuuden lisääntyminen sekä aluepoliittisesti uusien elinkeinojen syntyminen. Vaikka hajautetun tuotannon lisäämiseksi on poliittista kiinnostusta, mm. Suomessa sitä on käsitelty pitkän aikavälin energia- ja ilmastostrategiassa, sitä hidastaa keskitetyn järjestelmän vakiintunut asema ja polkuriippuvuus.

Erilaisissa selvityksissä on arvioitu, että hajautetun energian pientuotannon merkitys tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Tällä hetkellä suurin osa energian pientuotannosta Euroopassa ja Suomessa ei ole liitettyä jakeluverkkoon, vaan enemmistö pientuotantolaitoksista on kiinteistökohtaisia. [8, s. 31.]

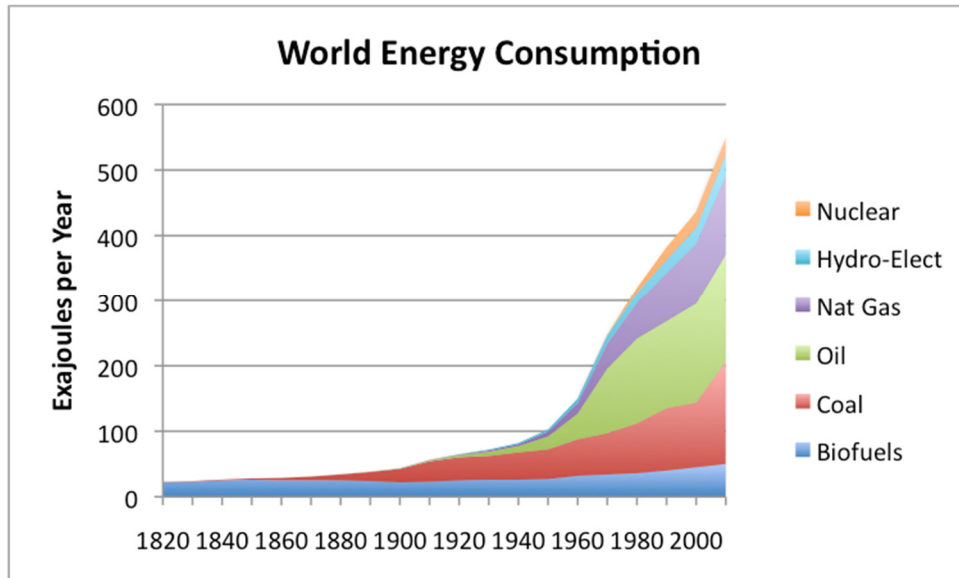
2.2 Energiantuotannon historia

Fossiilisten polttoaineiden käytön kehittymiseen ja sitä seuranneeseen teollistumiseen 1800-luvulla asti kaikki ihmisen käyttämä energia oli uusiutuvaa. Varhaisimpana uusiutuvan energian muotona voidaan pitää polttopuita tai muita biopolttoaineita tulen tekemiseksi. Myös esimerkiksi tuulen liike-energiaa on hyödynnetty tuhansia vuosia erilaisissa sovellutuksissa, kuten purjelaivoissa tai tuulimyllyissä.

Myös kivihiiltä on hyödynnetty hyvien palamisominaisuuksiensa vuoksi avotulen teossa tuhansia vuosia, ja 1700-luvulla tekniikan kehittyessä siitä tuli avain teollisessa vallankumouksessa. Kivihiiltä alettiin käyttää polttoaineena teollisuudessa, höyrylaivoissa ja -koneissa sekä lämmityksessä. Se oli ensimmäinen fossiilinen polttoaine, jota ihminen hyödynsi teollisesti. Hiilen etuna esimerkiksi puuhun nähden on parempi energiasisältö. Kivihiilen mahdollistaman teollistumisen myötä ihmisten määrä alkoi kasvaa, joka johti jatkuvasti suurenevaan energiantarpeeseen. Kivihiiltä on käytetty polttoaineena energiantuotannossa ja teollisuudessa 1700-luvulta tähän päivään asti. Hyvän lämpösisällön ansiosta sen polttaminen on halpaa. [12]

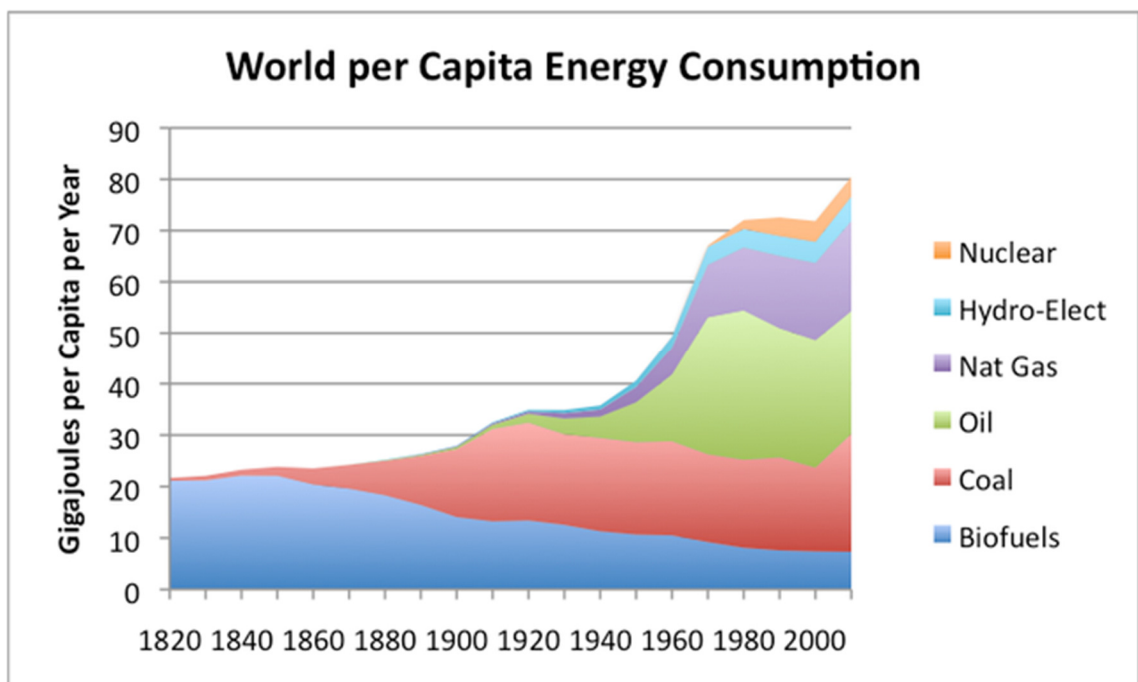
Muut merkittävät fossiiliset polttoaineet ovat olleet öljy ja maakaasu, joiden käyttö teollisuudessa alkoi 1800-luvun loppupuolella. Siitä alkoi ns. *toinen teollinen vallankumous*, joka aloitti uuden teollisen laajenemisen, väestönkasvun sekä elintason nousun. Eri teollisuuden alat kasvoivat öljyntuotannon ja siihen perustuvan teknologian ansiosta, ja työpaikkoja siirtyi maataloudesta teollisuuteen ja teollisuudesta toimistoihin. Öljyn myötä ihmiskunnan energiankulutus lähti räjähdysmäiseen nousuun.

Kuvassa 1 on esitetty maailman energiankulutuksen kehittyminen primäärienergiälähteittäin vuosina 1820–2020.



Kuva 1: Energiankulutuksen kehittyminen maailmassa energialähteittäin 1820–2020 [1]

1700-luvulla alkanut teollistuminen keskitti suuren osan maapallon energiankulutuksesta maantieteellisesti pienelle alueelle, eli maihin joiden teollisuus alkoi kasvaa. Sen seurauksena maailman energiankulutus henkeä kohti ei ole kasvanut suhteessa samaa vauhtia kuin maapallon kokonaisenergiankulutus. Yhden ihmisen keskimääräisen energiankulutuksen kehittyminen maailmassa vuosina 1820–2020 on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Maapallon energiankulutus henkeä kohti energialähteittäin 1820–2020 [1]

Vasta 1900-luvun puolivälissä ymmärrettiin, että fossiiliset polttoaineet tulevat aikanaan loppumaan kun geofyysikko M. King Hubbert ennusti, että fossiilisten polttoaineiden aikakausi tulisi jäämään lyhyeksi. Fossiilisia polttoaineita käyttävissä teollisuusmaissa alettiin kehittää vaihtoehtoisia energianlähteitä. Vaihtoehdoksi fossiilisille polttoaineille saatiin ydinvoima, ja vuonna 1950-luvulla ensimmäiset ydinvoimalat aloittivat toimintansa. Ydinvoima jatkaa edelleen kasvuaan, osuus oli vuonna 2013 6,3 prosenttia maailman energiantuotannosta. Ydinvoima ei aiheuta kasvihuonepäästöjä, mutta syntyvä radioaktiivinen ydinjäte on maatumatonta ja vaatii tarkkaa jätehuoltoa. Ydinvoimaa on kritisoitu myös riskinä turvallisuudelle. Se on kuitenkin suurista rakennuskustannuksista huolimatta verrattain halpaa, ja sitä pidetään laajalti fossiilisia polttoaineita parempana energianlähteenä niin kestäväen kehityksen kuin energian riittävyydenkin kannalta. [13]

2.3 Tulevaisuuden näkymät

Tulevaisuuden energiantuotantoa tulee määrittämään fossiilisten polttoaineiden riittävyys, ilmastonmuutoksen hillitseminen sekä tuleva teknologia.

Fossiilisten polttoaineiden riittävyyden arvioiminen on hankalaa, mutta nykykäsityksen mukaan öljy-, maakaasu- ja kivihiilivarantojen on arvioitu riittävän 2000-luvun loppuun tai 2100-luvun alkuun saakka. Tämä koskee kuitenkin vain tällä hetkellä löydettyjä esiintymiä, ja uusia tullaan todennäköisesti löytämään lähitulevaisuudessa. Lisäksi on vaikeaa arvioida fossiilisten polttoaineiden elinkaaria keskenään, sillä esimerkiksi öljy- ja maakaasuväarantojen pienetessä saattaa kivihiilen käyttö kasvaa, ja sen takia kivihiiliväarannot loppua arvioitua nopeammin. Kansainvälisenä tavoitteena on lisäksi rajoittaa ilmaston lämpeneminen kahteen celsiusasteeseen, mikä tarkoittaisi, että n. 60–80 % maailman jäljellä olevista fossiilisen polttoaineen väarannoista tulisi jättää käyttämättä. Fossiilisten polttoaineiden on kuitenkin arvioitu olevan ihmiskunnan pääasiallinen primäärienergianlähde käytännössä elinkaarensa loppuun, mutta väarantojen pieneneminen tulee muuttamaan niiden luonnetta. Esimerkiksi öljyväarantojen pienetessä siirtyy sen käyttö enemmän voimalaitoksista liikenteeseen, ja voimalaitosten kohdalla pyritään polttotekniikoita saamaan tehokkaammaksi ja taloudellisemmaksi. [14; 15, s. 43.]

Selvää on kuitenkin, että poliittisilla päätöksillä tulee olemaan suuri vaikutus siihen, millaiseksi energiantuotanto lähitulevaisuudessa muodostuu.

3 Uusiutuva energia

Uusiutuvalla energialla tarkoitetaan luonnonvaroista saatavaa energiaa, jonka uusiutumisprosessin voidaan katsoa ihmiskunnan näkökulmasta olevan loputon. Uusiutuvaksi energiaksi lasketaan mm. auringon lämpösäteily, maaperään sekä vesistöihin varastoitunut maalämpö, maankuoresta saatava geoterminen lämpö, virtaavien vesistöjen ja tuulen liike-energiaa hyödyntävät vesi- ja tuulivoima sekä eloperäisestä massasta kuten kasveista, puusta tai lannasta valmistetut biopolttoaineet.

Toisin kuin fossiiliset polttoaineet, joiden polttamisen vaikutus ilmakehän lämpenemiselle on kaikkein suurin, uusiutuva energia ei aiheuta biopolttoaineita lukuun ottamatta lainkaan kasvihuonepäästöjä, ja sen vuoksi niiden merkitys ilmastonmuutoksen hidastamisessa on suuri. Uusiutuva energia myös lisää maiden energiariippumattomuutta sekä tuo alueellisesti lisää työpaikkoja. Tämän lisäksi uusiutuva primäärienergia on ilmaista, minkä vuoksi niiden käyttöä lisäämällä voidaan saada kustannussäästöjä niin suuressa kuin pienessäkin mittakaavassakin. [16]

Suurin osa uusiutuvasta energiasta on suorasti tai epäsuorasti peräisin auringosta; suoran lämpösäteilyn lisäksi mm. tuuli syntyy auringon lämmön epätasaisen jakautumisen aiheuttamista paine-eroista, maalämpö on maaperään varastoitunutta auringon lämpösäteilyä ja biopolttoaineena käytettävät kasvit tarvitsevat kasvaakseen auringonvaloa. [17]

Toisin kuin maantieteellisesti rajoittuneita fossiilisia polttoaineita, uusiutuvia energianlähteitä on löydetty jossakin muodossa joka puolelta maapalloa. Uusiutuvaan energiaan panostaminen lisää maiden energiavarmuutta, vähentää kasvihuonepäästöjä sekä tuo lisää työpaikkoja. Maailmanlaajuisesti yli 30:ssä maassa uusiutuvan energian osuus on yli 20 prosenttia kokonaisenergiantuotannosta. [18, s. 9.]

3.1 Uusiutuva energia Suomessa

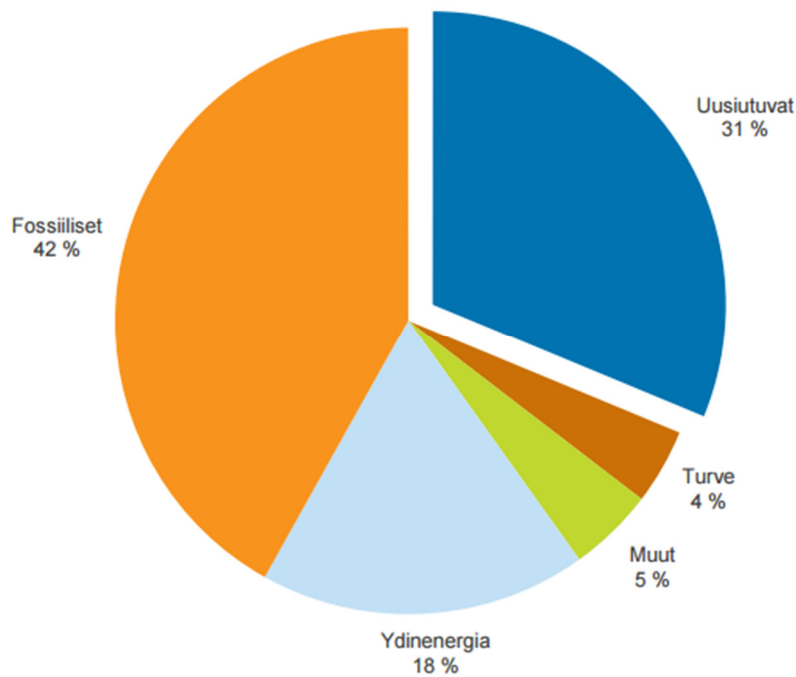
Vuonna 2014 Suomi tuotti 32 prosenttia kokonaisenergiankulutuksesta uusiutuvalla energialla. Suomen vahvuus uusiutuvan energian käytössä on perinteisesti ollut laajojen metsien ja metsäteollisuuden hyödyntäminen lämpö- ja sähköenergian tuotannossa. Puupolttoaineet muodostivat vuonna 2014 n. 25 prosenttia Suomen kokonaisenergiankulutuksesta. Puupolttoaineisiin luetaan metsäteollisuuden jäteliemet eli sellunkeitossa syntyvä mustalipeä, teollisuuden puupolttoaineet sekä puun pienkäyttö. [19; 20.]

Puunpolton ohella toinen merkittävä uusiutuva energiamuoto Suomessa on vesivoima, jolla tuotetaan sähköä. Vesivoimalla tuotetaan vuosittain 10–20 prosenttia Suomen sähköenergian tarpeesta, vesimäärästä riippuen. [21]

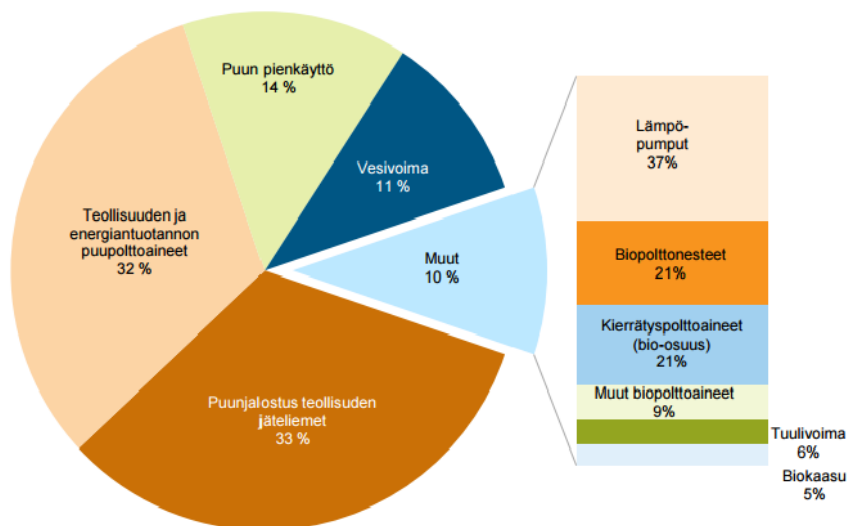
Puu- ja vesivoimaa lukuun ottamatta uusiutuvalla energialla ei ole ollut Suomessa merkittävää osuutta kokonaisenergian tuotannosta. Puupolttoaineiden ja vesivoiman lisäksi ainoastaan n. 5 prosenttia yhteensä muilla uusiutuvilla. Kuitenkin esimerkiksi uusia tuulivoimaloita on rakennettu runsaasti kesäkuun 2014 ja kesäkuun 2015 välisenä aikana, tuulivoima kasvatti osuuttaan kokonaisenergiankulutuksesta 117 % tuona aikana. Myös aurinkoenergiaan liittyy pohjoisesta sijainnista huolimatta potentiaalia Suomessa, sillä vielä Oulun korkeudella auringonsäteily on rannikolla yhtä voimakasta vuosittain kuin Pohjois-Saksassa johtuen valoisista kesistä, jotka kompensoivat pimeitä talvia. Tampereella auringonsäteily on saman suuruista kuin Etelä-Saksassa. Saksa tuottaa sähköstään puolet aurinkokennoilla, eli asukasta kohti 1500-kertaisesti enemmän aurinkosähköä kuin Suomessa. Tästä voidaan päätellä, että Suomessa ei ole vielä täysin herätty aurinkoenergian potentiaaliin. [22]

Suomen kasvihuonepäästöistä 80 % on peräisin energiantuotannosta ja -kulutuksesta sekä liikenteestä, minkä vuoksi energia- ja ilmastopolitiikka kulkevat tiiviisti yhdessä. [16, s. 2.]

Kuvassa 3 on esitetty energiankäytön jakautuminen Suomessa vuonna 2014 energialähteiden välillä, ja kuva 4 kuvaa uusiutuvan energian lähteiden jakautumista vuonna 2013.



Kuva 3: Energiankäytön jakautuminen energialähteittäin Suomessa vuonna 2014 [19]



Kuva 4: Uusiutuvan energian käytön jakautuminen Suomessa energialähteittäin 2013 [8]

3.1.1 Suomen energia- ja ilmastostrategia

Ilmastonmuutos ja kasvihuonepäästöt ovat kansainvälinen ongelma, jonka vuoksi teollisuusmaat ovat sopineet yhteisestä ilmastopolitiikasta ilmastoneuvotteluissa. Kansainvälisesti velvoittavia sopimuksia Suomelle on esimerkiksi vuonna 1994 allekirjoitettu Yhdistyneiden kansakuntien ilmastopöytäkirja ja siihen liittyvä ns. Kioton pöytäkirja, jonka tavoitteena on vakauttaa kasvihuonekaasujen määrä ilmakehässä sellaiselle tasolle, etteivät ne aiheuta vaarallisia muutoksia ilmastojärjestelmässä. Sen

lisäksi Suomen kansallista ilmastopolitiikkaa ohjaa Euroopan unionin yhteinen ilmastopolitiikka, joka asettaa tiettyjä tavoitteita ja reunaehdoja Suomen ilmastopolitiikalle. EU:n ilmastopolitiikan lyhyen aikavälin, vuoteen 2020 ulottuvan suunnitelman tavoitteena on vähentää kasvihuonepäästöjä 20 prosenttia, nostaa uusiutuvan energian osuutta 20 prosenttiin sekä tehostaa energiankäyttöä 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä jäsenmaiden alueella. Pitkän aikavälin, vuoteen 2050 ulottuvan suunnitelman tavoitteena on 80–95 prosentin päästövähennys jäsenmaiden alueella vuoteen 2050 mennessä sekä ilmaston lämpenemisen rajoittaminen kahteen asteeseen vuoteen 2100 mennessä. Euroopan unionin ehdotuksen mukaan Suomen kansallinen tavoite yhteisen ilmastopolitiikan täyttämiseksi lyhyellä aikavälillä on nostaa uusiutuvan energian osuus 38 prosenttiin vuoteen 2020 mennessä. [23]

Kansainväliset sopimukset asettavat ilmastopolitiikan reunaehdot ja tavoitteet, mutta valtiot itse päättävät, millä toimenpiteillä tavoitteisiin päästään. Vuodesta 2001 jokainen Suomen hallitus on julkaissut kansallisen ilmastostrategian. Nykyinen ilmastostrategia on laadittu vuonna 2008, ja sitä on päivitetty selontekona vuonna 2013. Siinä on esitetty keinot, joilla Suomi aikoo toteuttaa kansalliset päästövähennystavoitteet ja kansainväliset ilmastovelvoitteet. Vuoden 2013 selonteon mukaan Suomi on jo tehdyillä toimenpiteillä saavuttamassa EU:n uusiutuvan energian vähimmäistavoitteet vuoteen 2020 mennessä. [23; 24.]

3.1.2 Valtiollinen tuki

Vuonna 2011 Suomessa otettiin käyttöön uusiutuvan energian ns. *syöttötariffi*. Se tarkoittaa sitä, että uusiutuvan energian tuottajalle maksetaan heidän tuottamastaan sähköstä takuuhintaa. Valtiolle syöttötariffi ei aiheuta kustannuksia, sillä sähkön markkinahinnan ollessa takuuhintaa alhaisempi sähkönkuluttajat maksavat erotuksen sähkölaskussaan. Syöttötariffin tarkoituksena on edistää uusiutuvan energian tuotantoa siihen asti, kunnes uusiutuvalla energialla toimivien voimalaitosten volyymi on kasvanut niin suureksi, että niiden kustannukset ovat laskeneet kilpailukykyisiksi ja syöttötariffi voidaan poistaa. Tällä hetkellä uusiutuvalla energialla toimiva voimalaitos voi olla syöttötariffin piirissä 12 vuoden ajan. Vuoden 2014 alussa Suomessa oli 85 voimalaitosta, joille maksettiin tuotantotukea. [25; 26, s. 4.]

Syöttötariffin lisäksi valtion keskeinen tukitoimi uusiutuvan energian lisäämiseksi on erilaiset investointituet eli ns. energiatuet. Valtio voi myöntää energiatukea yrityksille, kunnille tai muille yhteisöille sellaisiin investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka

- edistävät uusiutuvan energian tuotantoa tai käyttöä
- tehostavat energiansäästöä tai energiantuotannon käyttöä
- vähentävät energiantuotannon tai käytön ympäristöhaittoja.

Tällaisia investointeja voivat olla esimerkiksi uusiutuvalla energialla toimivat lämpökeskukset, sähköntuotantohankkeet, uuden teknologian koekäyttö tai erilaiset selvitykset ja analyysit energiankäytön tehostamiseksi. Investointituen ohjeellinen suuruus on 10–30 prosenttia, ja voi maksimissaan olla 30–60 prosenttia hankkeen kokonaiskustannuksista. [27]

Tukijärjestelyt ovat lisänneet merkittävästi esimerkiksi tuulivoimainvestointeja käyttöönottovuotensa 2011 jälkeen. Vuonna 2011 tuulivoimalla tuotetun sähkön osuus oli 0,3 prosenttia, kun se vuonna 2015 oli 2,5 prosenttia. Tällä hetkellä onkin jo tilanne, jossa syöttötariffijärjestelmään tulee enemmän hakemuksia kuin siihen voidaan hyväksyä. [28, s. 1; 29, s. 20; 30.]

Syöttötariffijärjestelmää kohtaan on esitetty kritiikkiä sen odotettua suuremmista kustannuksista, jotka johtuvat ennakoitua korkeammasta sähkön markkinahinnasta, jonka vuoksi valtion maksama syöttötariffi sähköntuottajille on ollut odotettua suurempi. Sähkön markkinahinnan arvioitiin pysyvän n. 50 eurossa/MWh, mutta syöttötariffijärjestelmän aikana hinta onkin ollut keskimäärin 37,7 €/MWh. Lisäksi korkea syöttötariffi on tehnyt joidenkin suurten tuulisähkön tuottajien kannattavuuden todella suureksi, vaikka ilman tariffijärjestelmää valtaosa yrityksistä olisi kannattamattomia. Tämä asettaa tehtyjen investointien tulevaisuuden epävarmaksi, kun syöttötariffin maksaminen loppuu. [28, s. 36.]

3.1.3 Uusiutuva energia työllistäjänä

Uusiutuvan energian kasvun etuna on myös alueellisesti lisääntyvä työllisyys, joka tosin myös vie työpaikkoja muiden energiantuotantomuotojen puolelta. On kuitenkin arvioitu, että jos kansainvälisissä ilmastotavoitteissa onnistutaan, voi uusiutuvaan energiaan nojaava kehitys synnyttää vuoteen 2020 mennessä energia-alalla kaksi miljoonaa työpaikkaa enemmän kuin fossiiliin polttoaineisiin perustuva energiantuotanto. Maailmanlaajuisesti uusiutuvan energian parissa työskenteli vuonna 2012 5,7 miljoonaa,

ja vuonna 2013 jo 6,5 miljoonaa ihmistä, joten ala on voimakkaassa kasvussa. [31, s. 54; 32.]

3.2 Uusiutuva energia maailmalla

Uusiutuvalla energialla tuotettiin vuonna 2013 n. 19,1 % maailman energian loppukäytöstä, ja osuuden odotetaan kasvavan lähitulevaisuudessa vuosittain. Kasvua maailmalla on vauhdittanut uusiutuvaan energiaan liittyvät poliittiset linjaukset sekä järjestelmien kustannusten kilpailukyvyn paraneminen. Maailmalla nojataan uusiutuvan energian tuotannossa pääosin vesi-, tuuli- ja biovoimaan, mutta myös esimerkiksi aurinkovoima on kasvattanut osuuttaan voimakkaasti. [33, s. 17.]

Eurooppa on perinteisesti ollut uusiutuvan energian markkinoiden ja innovaatioiden keskus, mutta 2010-luvulla aktiivisuus on ollut suurta myös muualla maailmalla. Vuonna 2014 Kiina vastasi suurimmasta uusiutuvan energian järjestelmien kapasiteetin lisäyksestä maailmassa, ja myös esimerkiksi Brasilia, Intia ja Etelä-Afrikka ovat kasvattaneet uusiutuvan energian käyttöä voimakkaasti. Nuo maat ovat kuitenkin listan kärkipäässä osin suuren väkilukunsa ja pinta-alansa vuoksi. Myös monista Aasian, Afrikan ja Etelä-Amerikan kehittyvistä maista on viime vuosina tullut merkittäviä uusiutuvan energian hyödyntäjiä. [33, s. 17.]

Vuonna 2014 suurimpien uusiutuvan energian tuottajamaiden kärjessä olivat Kiina ja Yhdysvallat, jotka ovat myös kaksi eniten energiaa kuluttavaa maata maailmassa. Niiden jälkeen tulevat Brasilia, Saksa ja Kanada. Huomionarvoista on että Norja, jonka kokonaisenergiankulutus muodostaa ainoastaan 2 prosenttia Euroopan energiankulutuksesta, tuotti vuonna 2012 kahdeksanneksi eniten uusiutuvaa energiaa maailmassa. Tämä johtuu pääasiassa Norjan massiivisesta vesivoiman hyödyntämisestä, sillä se tuottaa 99 % sähköenergiastaan vesivoimalla. [33, s. 20; 34; 35.]

3.2.1 Kiina

Kiina on maailman suurin kasvihuonepäästöjen aiheuttaja. Se julkaisi vuonna 2007 ensimmäisen kansallisen tason suunnitelmansa ilmastomuutoksen ehkäisemiseksi, joka kuitenkin oli ensimmäinen laatuaan kehittyvissä maissa. Siinäkin ei kuitenkaan

esitetty konkreettisia keinoja hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Kiina on kuitenkin ottanut energiapolitiikan kysymykset vakavasti, sillä maa on kaupunkialueiltaan pahasti saastunut ja maan energiahuoltovarmuus on tällä hetkellä heikko. Vuonna 2011 Kiina tuotti 70 % energiastaan kivihiilellä, mutta maassa saadaan lisää kivihiiltä poltettavaksi vain 30 % siitä määrästä, mitä sitä kuluu. Maan nykyisen energiapolitiikan mukaan vuonna 2050 tulisi energian loppukäytöstä 50–70 prosenttia olla tuotettu öljyllä, maakaasulla ja uusiutuvalla energialla ja 30–50 % kivihiilellä. Kiinan lähitulevaisuuden energiapolitiikka tähtää kivihiilen korvaamiseen osittain öljyllä, joten maassa ei ole tehty samanlaisia kokonaisvaltaisia fossiilisten polttoaineiden vähentämisen tavoitteita kuin esimerkiksi Euroopassa, mutta siitä huolimatta uusiutuvan energian lisäykset ovat olleet maassa voimakkaita. Esimerkiksi vuosien 2005–2015 asennettujen aurinkosähköjärjestelmien määrä kasvoi maassa 100-kertaiseksi. Lisäksi maahan on rakennettu suuria tuulipuistoja ja vesivoimaloita lähinnä maaseutualueille. Maailman kokonaispäästöjen vähentämisessä Kiina on avainasemassa, joten maan energiapolitiikan toivotaan jatkuvan mahdollisimman ympäristöystävällisenä. Vuonna 2012 maa tuotti n. 9 % kokonaisenergiankulutuksestaan uusiutuvalla energialla, pääosin vesivoimalla. [36, s. 51; 37; 38; 39, s. 4.]

3.2.2 Yhdysvallat

Yhdysvallat tuottaa Kiinan jälkeen maailman toiseksi eniten kasvihuonepäästöjä. Maan energiasta 11,2 % tuotettiin uusiutuvilla energianlähteillä vuonna 2012, ja suurin uusiutuvien lähde oli biomassa n. 49 prosentin osuudella. Myös vesivoima on Yhdysvalloissa merkittävässä asemassa; sillä tuetaan yli puolet maan uusiutuvan energian sähköntuotannosta. [40; 41, s. 11.]

Presidentti Barack Obaman toimesta Yhdysvalloissa esiteltiin vuonna 2008 New Energy for America-kampanja, jonka tavoitteena on kasvattaa investointeja uusiutuvaan energiaan, vähentää riippuvuutta ulkomailta tuodusta öljystä, hidastaa ilmastonmuutosta sekä luoda työpaikkoja yhdysvaltalaisille. Suunnitelma sisältää mm. tavoitteen tuottaa maan sähköenergiasta 25 % uusiutuvalla energialla vuoteen 2025 mennessä. [42]

Vaikka uusiutuva energia on kasvattanut tasaisesti osuuttaan Yhdysvalloissa lähes joka vuosi 2000-luvulla, maa ei kuitenkaan ole Euroopan tasolla uusiutuvan energian käytössä tai tavoitteissaan sen osuuden kasvattamiseen.

3.2.3 Brasilia

Brasilia on luonnonvarojensa, sijaintinsa ja ilmastonsa puolesta otollinen uusiutuvalle energialle. Maa onkin tuottanut kokonaisenergiastaan 2010-luvulla vuosittain n. 40–50 prosenttia uusiutuvasti ja sähköenergiastaan vuonna 2009 n. 85 prosenttia, ja sitä pidetään uusiutuvan energian suurvaltana maapallon mittakaavassa. Vesivoima on maan tärkein lähde, ja toiseksi tärkein on tuulivoima. Myös esimerkiksi aurinkoenergia on muun maailman tavoin kasvattanut vauhdikkaasti osuuttaan maan energiantuotannossa. [43; 44.]

Brasilian erikoisuus uusiutuvan energian tuotannossa on sokeriruokoetanoli, jota maassa pystytään tuottamaan lukuisten, vuosikymmenten saatossa perustettujen sokeriruokofarmien avulla. Sokeriruokoetanolia ei kuitenkaan käytetä energiantuotannossa, vaan lähinnä autojen polttoaineena. Maassa ei nykyään ole lainkaan pelkällä bensalla kulkevia omassa maassa valmistettuja henkilöautoja, vaan kaikki kevyet ajoneuvot kulkevat sokeriruoko- tai muulla vedettömällä etanolilla laimennetulla bensalla. [45]

Uusiutuvaa energiaa on tuettu Brasiliassa voimakkaasti valtion tasolta jo pitkään, mm. vuonna 2002 alkaneella Proinfa-ohjelmalla. Maan tavoitteena on vuoteen 2030 mennessä saada jo 75 % energiastaan uusiutuvista lähteistä. Maa on myös maailman 12. suurin öljyntuottaja, mutta suurin osa öljystä viedään maasta ulkomaille. [44]

3.2.4 Saksa

Saksa on Euroopan johtava valtio uusiutuvilla lähteillä tuotetun energiamäärän perusteella, ja sen energiasektoria pidetään yhtenä maailman innovatiivisimmista ja menestyksekkäimmistä, vaikkakin uusiutuvan energian osuus kokonaisenergiantuotannosta ei maassa ollut vuonna 2014 enempää kuin n. 13,8 %. Saksassa on kuitenkin 2000-luvulla panostettu voimakkaasti fossiilisten polttoaineiden ja ydinvoiman alasajoon ja uusiutuvan energian lisäämiseen, ja maahan on rakennettu suuria aurinko- ja tuulivoimapuistoja. Esimerkiksi vuoden 2015 kolmella ensimmäisellä neljänneksellä tuulivoima tuotti Saksassa 52 % suuremman sähkötehon kuin koko vuonna 2014 yhteensä. Vuonna 2014 uusiutuva energia ohitti ruskohiilen suurimpana sähköntuotannon energialähteenä. Näistäkin seikoista voidaan päätellä, että uusiutuva energia on maassa vahvassa kasvussa. [46; 47.]

Saksassa valtio tukee uusiutuvaa energiaa mm. syöttötariffin avulla. Sen kautta voidaan maksaa takuuhintaa 20 vuotta sähköntuottajalle, joka syöttää sähköverkkoon uusiutuvilla lähteillä tuotettua sähköä. Tämä on nostanut uusiutuvan energian tuotannon Saksassa jyrkkään nousuun. On kuitenkin arvioitu, että uusiutuvan energian tukeminen maksaa maassa nykyisin 20 miljardia euroa vuodessa, ja lisäksi tuet vääristävät energiamarkkinoita maassa erityisen paljon, kun kustannustehokasta ydinvoimaa ajetaan samaan aikaan alas ja uusiutuvan energian rakentaminen on nopeampaa kuin ehkä missään muualla. [48; 49.]

3.2.5 Mitä opittavaa Suomella on?

Suomea pidetään uusiutuvan energian mallimaana ja maan energiapolitiikkaa kunnianhimoisena. Suomea on kehitetty mm. metsien taloudellisesta hyötykäytöstä. Suurimpana kehityskohtana on sanottu, että Suomessa voitaisiin ottaa mallia esimerkiksi Saksasta liittyen aurinkovoiman hyödyntämiseen, sillä maiden sijainnin antama auringon lämpösäteilyn hyödynnettävyys on samaa luokkaa. Kuitenkin esimerkiksi sähköverkkoon liitettyihin aurinkosähköpuistoihin liittyy muitakin tekijöitä, sillä Saksassa vauhdittajana on ollut Suomea korkeampi syöttötariffi. [50]

4 Maa- ja geoterminen energia

Maaenergia eli maalämpö ja geoterminen energia ovat käsitteinä samankaltaisia, mutta eroavat alkuperältään toisistaan merkittävästi. Maalämpö on maahan varastoitunutta aurinkoenergiaa, ja geoterminen energia on peräisin maankuoressa tapahtuvasta radioaktiivisesta hajoamisesta.

Mahdollisuudet geotermisen energian primääriseen hyödyntämiseen voimalaitosten kautta ovat tällä hetkellä rajalliset, joten tässä työssä keskitytään pääosin maalämpöön sekä geotermisen energian hyödyntämiseen sekundaarisesti maalämmön tavoin.

4.1 Maalämpö

4.1.1 Maalämmön hyödyntäminen

Maalämpö on lämpimän ilman ja vesisateiden kautta maa- ja kallioperään tai vesistöihin varastoitunutta auringon lämpöenergiaa. Maalämpö on uusiutuva, tasainen ja luotettava lämmönlähde läpi vuoden. Vaikka talvisin Suomen leveysasteilla on auringon lämpösäteily vähäistä, maalämpöä voidaan hyödyntää myös talvisin maahan varastoituneen lämmön muodossa. Maalämmössä on paljon potentiaalia, sillä tutkimusten mukaan n. 3 prosenttia vuosittain maahan varastoituvasta riittäisi vuotuisen energiantarpeen kattamiseksi. [51, s. 7.]

Maalämpöä voidaan kerätä maaperästä joko porakaivoon asennettavan pystyputken tai maan pintakerrokseen asennettavan vaakaputkiston avulla. Maaperästä kerättäessä on porakaivoon asennettava pystyputki pintakerrokseen asennettavaa vaakaputkistoa pitkäikäisempi, varmatoimisempi, routimaton ja helpommin ilmattava järjestelmä, jonka lisäksi pystymallisen putken energiansaanti on kaksinkertainen putkimetriä kohti vaakaputkistoon verrattuna. Miinuspuolena porakaivossa on sen kalliimpi hinta. Maalämpöä voidaan kerätä myös vesistöistä. Järvet, lammet sekä merenrannat sopivat hyvin lämmönlähteeksi, kunhan vesistön syvyys on vähintään kaksi metriä jo rannan läheisyydessä. Lämmönkeruu vesistöistä toteutetaan vesistön pohjaan ankkuroitavan vaakaputkiston avulla. [51, s. 10-11.]

Maalämpö on nykyisin yleinen tapa vähentää kiinteistökohtaista energiankulutusta, ja se on Suomen voimakkaimmin kasvava lämmitysmuoto. Uusista pientaloista lähes 50 prosenttiin asennettiin maalämpöjärjestelmä vuonna 2011. Lisäksi sen käyttö osana rakennuksen lämmitysjärjestelmää laskee hiilidioksidipäästöjä. Maalämpöjärjestelmän hiilidioksidipäästöt ovat n. 60–70 $kgCO_2/MWh$, joka on n. kolmannes kokonaan sähkölämmitteisen ja neljännes öljylämmitteisen talon päästöistä. Maalämpöjärjestelmän asentaminen on sitä kannattavampaa, mitä suurempi kiinteistön energiankulutus on, sillä maalämpöön liittyy verrattain suuret investointikustannukset, mutta selvästi esimerkiksi perinteisempiä puu- tai öljylämmitysjärjestelmiä pienemmät käyttökustannukset. [52]

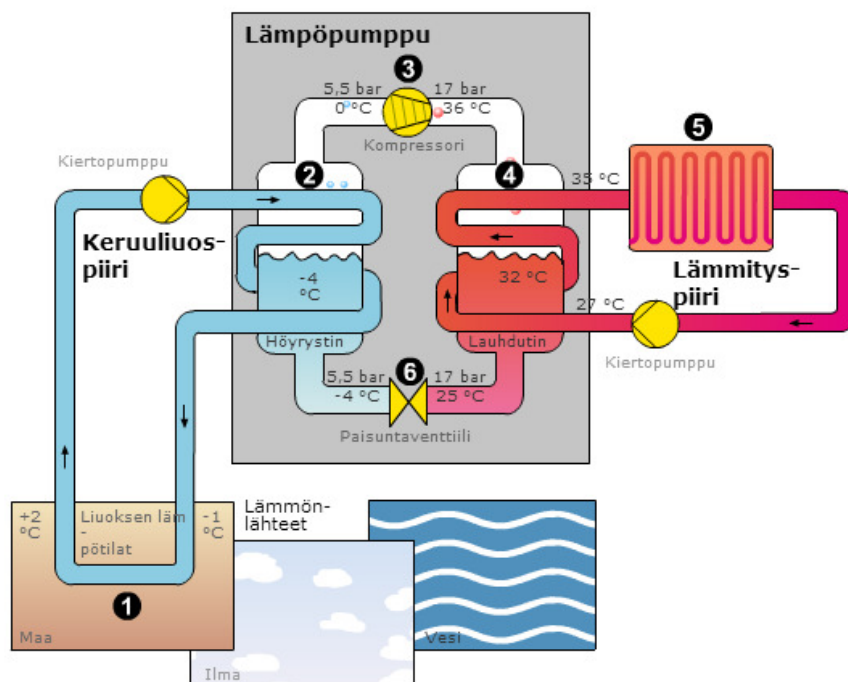
Maalämpöä hyödynnetään maalämpöpumpun avulla.

4.1.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumpun toiminta perustuu maankuoreen, pintamaahan, kallioperään tai vesistöihin varastoituneen lämmön hyödyntämiseen rakennuksen tilojen tai käyttöveden lämmityksessä. Maaperään varastoituneen aurinkolämmön lisäksi maalämpöpumpun avulla voidaan hyödyntää myös maankuoren geotermistä lämpöä ns. sekundaarisesti. Suomessa auringosta peräisin oleva lämpö varastoituu maahan n. 15 metrin syvyyteen saakka, joten suurin osa porakaivosta saatavasta lämmöstä on geotermistä lämpöä. [51, s. 7.]

Maalämpöpumpun keskeisiä osia ovat keruuputkisto, höyrystin, kompressorin sekä lauhdutin. Keruuputkistossa kierrätetään jäätymätöntä nestettä, yleensä glykolia, joka sitoo itseensä maalämpöä. Lämmennyt väliaine johdetaan höyrystimelle, jossa siitä muodostuu kylmäaineen avulla höyryä. Höyrystynyt neste johdetaan kompressorin, joka puristaa sen korkeaan paineeseen nostaen sen lämpötilaa. Sen jälkeen höyry siirtyy lauhduttimeen, jossa se muuttuu takaisin nesteeksi ja luovuttaa lämpöä ns. toisiopiirissä kiertävään aineeseen, esimerkiksi lämmitysverkoston veteen tai lämpimään käyttöveteen. [51,s.9.]

Kuvassa 5 on selvitetty maalämpöpumpun toimintaperiaatetta.



Kuva 5: Maalämpöpumpun toimintaperiaate [53]

Maalämpöpumppu tarvitsee toimiakseen sähköenergiaa, mutta tuottaa lämpöenergiaa käyttämäänsä sähköenergiaan nähden yleensä n. 3–4-kertaisesti. Ottotehon ja tuotetun lämpötehon suhdetta kutsutaan COP-kertoimeksi. [51]

4.2 Geoterminen energia

Geotermisellä energialla tarkoitetaan maankuoressa tapahtuvan radioaktiivisen prosessin aikaansaamaa lämpöä. Tämä lämpö johtuu maankuoren ylempiin kerroksiin, jolloin sitä voidaan käyttää lämmityksessä tai sähköntuotannossa geotermisen voimalaitoksen tai lämpöpumpun avulla. Geoterminen energia on voimalaitosten suurista investointi- ja asennuskustannuksista huolimatta halpaa. [54]

Geotermisiä voimalaitoksia on kansainvälisesti 70:ssä maassa, mutta ei toistaiseksi vielä Suomessa. Suomen ensimmäisen geotermisen voimalaitoksen rakentaminen aloitettiin Espooseen vuonna 2015, ja sen on määrä valmistua 2017. Geotermisen energian hyödyntäminen primäärisesti on toistaiseksi maantieteellisesti hyvin rajoittunutta nykytekniikalla, sillä sitä voidaan hyödyntää kannattavasti vain alueilla, joissa kuuma vesi nousee maan pinnalle asti. Nykyiset geotermiset voimalat toimivatkin lähinnä tuliperäisillä alueilla, kuten Islannissa. Primäärisessä geotermisessä energiassa on kuitenkin paljon potentiaalia, sillä tekniikan parantuessa on arvioitu käytettävissä olevien geotermisten lämpövarojen olevan n. 170 miljoonaa terawattia, mikä on yli tuhat kertaa enemmän kuin maapallon kokonaisenergiankulutus vuodessa. [54]

5 Tuulivoima

5.1 Yleisesti tuulivoimasta

Tuulen liike-energiaa on hyödynnetty jo tuhansia vuosia mm. purjelaivoissa sekä tuulimyllyissä, mutta sähköntuottoon tarkoitetut nykyiset tuulivoimalat tulivat poliittisten toimien ja valtiollisen rahoituksen myötä käyttöön vasta 1970-luvulla. Nykyisin tuulivoima on voimakkaimmin kasvava sähköntuotantomuoto, ja vuonna 2013 sillä tuotettiin n. 5 % maailman sähköenergiantarpeesta. Tuulivoima ei kuitenkaan ole vielä tuottajalleen taloudellisesti kannattavaa. Sen vuoksi monet valtiot, mukaan lukien Suomi, tukevat tuulivoiman tuottajia ns. syöttötariffin avulla. [55]

Tuulivoimaa hyödynnetään nykyisin kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi rakentamalla tuulipuistoja, joihin kuuluu useita sähköverkkoon liitettyjä tuulivoimaloita. Tuulipuisto sijoitetaan yleensä rannikolle, mutta voidaan sijoittaa myös sisämaahan. [55]

Tuulivoiman merkitystä kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi pidetään suurena. Esimerkiksi maailman suurin tuulivoiman tuottajamaa, Tanska, tuotti vuonna 2014 jo lähes 40 % sähköenergiastaan tuulivoimalla. Maailmanlaajuisena tavoitteena on tuottaa vuoteen 2050 mennessä 20 prosenttia maailman sähköenergiasta tuulivoimalla. Myös Kiina, joka kuluttaa maailman maista eniten sähköenergiaa, on ryhtynyt toimiin tuulivoiman osuuden kasvattamiseksi, tuottaen sillä vuonna 2014 kuitenkin vasta 2,78 sähköenergiastaan. Kiina on kuitenkin asettanut tuulivoiman merkittäväksi tekijäksi maan talouden kasvattamiseksi ja rakentanut tuulipuistoja ympäri pitkää rannikkoaan sekä laajaa maa-aluettaan lähinnä maaseudulle, jossa ne hyödyttävät myös paikallista taloutta ja väestöä. [33; 55; 56.]

Tuulivoiman haittapuolina voidaan pitää sen epävarmuutta; tuuli ei koskaan ole jatkuvaa. Lisäksi tuulivoimaloita on kritisoita meluhaitasta sekä maiseman pilaamisesta. Lisäksi nykyiset, suuret tuulivoimalat voivat aiheuttaa haittaa lintujen ja muiden eläinten käyttäytymiselle. Nämä haitat voidaan kuitenkin minimoida sijoittamalla tuulipuistot syrjäiseen paikkaan, tai esimerkiksi teollisuusalueille, joissa vastaavanlaisia haittoja on ilman tuulivoimaloitakin. [57]

Vaikka Suomea pidetään muihin Pohjoismaihin verrattuna hieman epäedullisempänä alueena tuulivoimalle, rakentamaton tuulivoimapotentiaali on suuri. Suurin osa Suomen nykyisistä tuulivoimaloista sijaitsee Pohjois-Pohjanmaan, Satakunnan ja Ahvenanmaan rannikolla sekä Lapin tunturialueilla. Tuulivoimalat on pyritty sijoittamaan merelle, rannikolle tai tunturialueille, sillä niissä tuulen keskinopeus on suurin, n. 6–9,5 m/s, kun se sisämaassa on n. 4,5–5,5 m/s. Talvikuukaudet ovat Suomessa otollisimpia tuulivoiman kannalta, sillä silloin tuulesta saadaan energiaa n. kaksinkertaisesti kesäkuukausiin verrattuna. [57]

Vuonna 2008 laaditussa energia- ja ilmastostrategiassa määriteltiin tavoitteeksi tuulivoiman osalta kasvattaa sen kokonaistehoa 120 megawatista 2000 megawattiin vuoteen 2020 mennessä. [57, s. 4.]

Tuulivoimaa voidaan käyttää ainoastaan täydentävänä energiamuotona, sillä se on riippuvainen tuuliolosuhteista. Tuulivoima on kuitenkin edullista, sillä voimaloiden käyttökustannukset ovat alhaiset ja vaativat vain vähän huoltoa, ovat teknisesti luotettavia ja pitkälti automatisoituja. Tuulivoimassa on lisäksi paljon potentiaalia, sillä esimerkiksi Suomen Perämerellä tuulivoimapotentiaali on n. 40 terawattituntia vuodessa, mikä vastaa n. puolta Suomen sähköenergiankulutuksesta. [58, s. 9; 59, s. 4.]

5.2 Tuulivoimalat

Tuulivoimaa tuotetaan tuulivoimalassa, joka koostuu siivistä, mm. generaattorin ja vaihteiston sisältävästä konehuoneesta, muuntajasta, tornista sekä perustuksista. Voimalan toiminta perustuu tuulen liike-energian hyödyntämiseen. Tuuli pyörittää generaattoriin kytkettyyn akseliin liitettyjä siipiä, jolloin muodostuu sähköä. Sähköntuotto vaatii n. 3,5 m/s tuulen, ja tuotettu sähköteho lisääntyy nopeasti tuulen nopeuden kasvaessa. Tuulennopeuden kaksinkertaistuessa sähköntuotto kahdeksankertaistuu. [60; 61.]

Tuulivoimateknologia on kehittynyt nopeasti, ja teollisten voimaloiden koko ja tuotantoteho ovat kasvaneet viime vuosikymmenten aikana huimasti. Nykyiset voimalat ovat yleensä n. 80–150 metriä korkeita ja potkurin halkaisija n. 100 metriä, kun teollisten tuulivoimaloiden alkuaikoina 70–80-luvuilla potkurin halkaisija oli alle 15 metriä ja tornin korkeus vain hieman päälle 20 metriä. Voimaloiden kokoa on kasvatettu, koska tuuliolosuhteet ovat otollisemmat korkeammalla, ja ennen kaikkea koska voimalan sähköteho on suoraan verrannollinen sen pyyhkäisypinta-alaan, joka tarkoittaa lapojen kärjen piirtämän ympyrän pinta-alaa. Nykyisten, yli 100 metriä korkeiden voimaloiden nimellisteho on n. 5 MW. [62; 63.]

Kuvissa 6 ja 7 on esitetty eurooppalaisia tuulivoimapuistoja Ruotsissa ja Kreikassa.



Kuva 6: Ruotsin suurin merelle sijoitettu tuulipuisto Lillgrundissa [64]



Kuva 7: Tuulipuisto Kreikassa, Evian saarella [65]

6 Aurinkoenergia

Aurinkoenergia on auringon säteilemää lämpöenergiaa, jota voidaan nykYTEKNOLOGIAN avulla muuttaa lämpö- tai sähköenergiaksi. Auringon säteilyteho maanpinnalla on n. 170 000 terawattia. Teho on niin suuri, että auringon tunnissa säteilemä lämpöteho riittäisi kattamaan koko maapallon energiantarpeen vuodeksi. Aurinkoenergiaa riittää myös Suomen oloihin – Etelä-Suomessa neliömetri maapinta-alaa vastaanottaa vuoden aikana 1 000 kilowattituntia auringonsäteilyä, mikä on n. viidenneksen vähemmän kuin Keski-Euroopassa. Keski-Suomessa säteilyteho on 900 kWh/v ja Pohjois-Suomessa

800 kWh/v. Auringon säteilemästä tehosta ei voida kuitenkaan hyödyntää kuin pieni osa, sillä maapallon vastaanottamasta säteilytehosta valtaosa varastoituu maaperään, vesistöihin sekä ilmakehään tai heijastuu takaisin avaruuteen. Aurinkoenergiaa ei myöskään voida rakennuksissa käyttää ainoana lämmön tai sähkön tuotantomuotona, sillä auringon lämpösäteilyn hyödyntäminen on riippuvaista säästä sekä vuodenajasta. Aurinkoenergia on kuitenkin ilmaista sekä lähes päästötöntä energiaa, ja sen vuoksi sitä kannattaa hyödyntää. [66; 67.]

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivinen hyödyntäminen tarkoittaa auringon lämpösäteilyn hyödyntämistä ilman teknisiä järjestelmiä, esimerkiksi suurten, etelää kohti suunnattujen ikkunoiden avulla. Passiivista aurinkoenergiaa hyödynnetään erityisesti passiivitaloissa, joiden lämmitys perustuu maksimaaliseen aurinkoenergian hyödyntämiseen ilman erillistä lämmitysjärjestelmää. [68]

Aktiivisesti aurinkoenergiaa hyödynnetään teknisten järjestelmien avulla, joko aurinkolämpönä tai -sähkönä.

6.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämpö tarkoittaa auringon lämpösäteilyn hyödyntämistä rakennuksen tai käyttöveden lämmityksessä. Tähän tarkoitukseen käytetään aurinkokeräimiä, jonka sisällä kiertävä väliaine kerää itseensä lämpösäteilyä auringonpaisteesta. Väliaineena aurinkokeräimissä käytetään yleensä vesi-glykoli-seosta. Lämmennyt väliaine kuljetetaan esimerkiksi lämmityksen tai käyttöveden lämmönvaihtimen läpi, jolloin se luovuttaa lämpöenergiaa rakennuksen lämmitys- tai käyttövesiverkostoon. [68]

Aurinkolämpö on energiatehokas ja ekologinen lämmitysmuoto, mutta se tarvitsee rinnalleen jonkin toisen lämmitysmuodon, sillä aurinkolämpöä ei voida hyödyntää maksimaalisesti lämmitystehontarpeen ollessa suurimmillaan, eli talvisin. Kuitenkin esimerkiksi kauko- tai sähkölämmityksen ohella aurinkolämmöllä voidaan tuottaa suuri osa lämmitysenergiantarpeesta kesäkuukausina, ja näin vähentää ostoenergiankulutusta. Tulevaisuudessa aurinkolämmön merkitys tulee kasvamaan nollaenergiarakentamisen sekä tiukentuvien energiamääräysten takia. [68]

Käytettäviä aurinkokeräimiä on pääasiassa kahta eri mallia: tasokeräimiä ja tyhjiöputkikeräimiä.

6.1.1 Tasokeräin

Tasokeräin on yleisin aurinkokeräintyyppi. Sen lämmönkeruupinta muodostuu vaakatasoon asennetusta keruuputkistosta, jossa kiertää lämmönsiirtoneste. Lämmönsiirtonesteenä käytetään ympärivuotisessa käytössä olevissa keräimissä yleensä jäätymätöntä vesi-glykoli-seosta, mutta vain kesäkäyttöön tarkoitetuissa keräimissä paras hyötysuhde saadaan käyttämällä väliaineena vettä. Keruuputkiston päällä on musta absorptiopinta, joka imee itseensä auringon lämpöä ja siten lämmittää keruuputkistossa kulkevaa väliainetta. Absorptiopinta on katettu vähärautaisella erikoislasilla. Sekä absorptiopinta että katteena toimiva lasi sitovat hyvin itseensä auringon lämpösäteilyä, mutta estävät absorptiolevyn sitoutunutta lämpöä vuotamasta ulos. [69, s. 6-10.]

Keruuputket on yhdistetty keräimen reunoissa kulkeviin kokoojaputkiin, joiden kautta lämmennyt väliaine kuljetetaan lämmönvaraajaan, josta se luovuttaa lämmönvaihtimen kautta lämpöä rakennuksen lämpimään käyttöveteen tai patteriverkoston menoveteen. [69, s. 6-10.]

Aurinkokeräimen toimintaa ohjataan sisätiloihin sijoitetun elektronisen ohjausyksikön avulla. Ohjausyksikköön on liitetty termostaatti, joka saa lämpötilatiedon sekä keräimeen että lämminvesivaraajaan sijoitetuista lämpötila-antureista. Näin ohjausyksikön avulla voidaan säätää, milloin lämmönsiirtonestettä keräimeen sijoitettu pumppu alkaa kierrättää lämmönsiirtonestettä keräimen ja lämminvesivaraajan välillä. Säätö voidaan tehdä esimerkiksi niin, että pumppu käynnistyy väliaineen lämpötilan ollessa 10 astetta korkeampi kuin lämpötila varaajassa ja pysähtyy, jos väliaineen lämpötila laskee sen alle. Näin aurinkolämpöjärjestelmä saadaan pidettyä käynnissä vain silloin, kun auringosta saadaan riittävästi lämpöenergiaa siirrettäväksi rakennukseen. Varaajalle asetetaan myös maksimilämpötila, jonka ylittyessä pumppu pysähtyy varaajan ylikuumenemisen välttämiseksi. Varaajan ylikuumeneminen voisi aiheuttaa kalkkikerrostumia tai veden kiehumisen. [69, s. 6–10.]

Tasokeräimen hyötysuhde on n. 35–75 %. Hyötysuhde riippuu keräimen suuntauksesta, sijoittamisesta sekä säädöstä. Paras hyötysuhde saadaan sijoittamalla keräin

mahdollisimman aurinkoiselle paikalle, suuntaamalla se päiväaurinkoa päin sekä säätämällä pumpun käynnistys- ja pysähdyslämpötilat optimaalisiksi. [69, s. 6-10; 70.]

Kuvissa 8 ja 9 on esitetty taso- ja tyhjiöputkikeräin asennettuna rakennuksen vesikatolle.



Kuva 8: tasokeräin asennettuna rakennuksen katolle [71]

6.1.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate on sama kuin tasokeräimessäkin. Ainoa ero on siinä, että keruuputkistoa ei ole sijoitettu absorptiopinnan, vaan eristeenä toimivan lasisen tyhjiöputken sisälle. Kahden putken väliin jäävä tyhjiö estää keruuputkistoon sitoutunutta lämpöä karkaamasta. Tyhjiöputkikeräimen etuna on, että se ei ole riippuvainen auringonsäteilyn tulosuunnasta; siinä missä tasokeräimen absorptiopinnan tulee olla suunnattu optimaalisesti kohti aurinkoa, tyhjiöputki vastaanottaa lämpöä yhdenvertaisesti joka suunnasta. Lisäksi voidaan hyödyntää auringon hajasäteilyä, eli keräin saa lämpöä talteen myös pilvisellä säällä, vuosittainen lämmöntuottokausi alkaa aikaisemmin sekä ulottuu lähes koko vuodeksi. Kesäkaudella oikein suunnattu tasokeräin kerää kuitenkin lämpöä tehokkaammin kuin tyhjiöputkikeräin.

Tyhjiöputkikeräimessä on pienemmät lämpöhäviöt kuin tasokeräimessä, ja sillä voidaan päästä parempaan hyötysuhteeseen, n. 35–85 %. [69, s. 11–12; 70.]



Kuva 9: tyhjiöputkikeräin [72]

6.2 Aurinkosähkö

Aurinkosähköllä tarkoitetaan auringon säteilyn muuttamista suoraan sähköenergiaksi. Aurinkosähköä on perinteisesti käytetty kohteissa, joissa verkkosähköä ei ole ollut saatavilla, kuten asuntovaunuissa ja vapaa-ajan asunnoissa. Nykyään ympäristökysymykset ja tekniikan kehittyminen ovat tuoneet aurinkosähkön osaksi myös rakennusten sähköntuottoa, ja aurinkosähköllä pystytään tuottamaan iso osa kotitalouden tarvitsemasta sähköenergiasta, minkä lisäksi oman kulutuksen ylittävä osa voidaan syöttää sähköverkkoon. [68]

Aurinkosähköä tuotetaan aurinkokennoilla.

6.2.1 Aurinkokenno

Aurinkokennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa auringonsäteistä peräisin olevat fotonit synnyttävät aurinkokennon pinnalla olevaan absorboivaan

puolijohteeseen elektroneja, eli sähkövarauksen, jotka kerätään akkuihin. Nykyisissä aurinkokennoissa on kaksi kerrosta puolijohdemateriaalia, ns. p-tyyppi ja n-tyyppi. Puolijohteena käytetään yleisimmin piipohjaisia materiaaleja (tavallisimmin yksi- tai monikiteistä piitä) tai ohutkalvotekniikkaa. Piipohjaiset kennot hallitsevat markkinoita n. 90 % markkinaosuudella, mutta ohutkalvotekniikalla tuotetut kennot vaativat vähemmän raaka-aineita ja soveltuvat siten paremmin massatuotantoon. Piipohjaisilla kennoilla päästään tavallisesti kuitenkin hieman parempaan hyötysuhteeseen, n. 15-17 prosenttiin, kun taas ohutkalvokennoilla hyötysuhde on n. 9-11 prosenttia. Ohutkalvokennojen heikompi hyötysuhde johtuu siitä, että ne päästävät lävitseen enemmän valoa ja siten pienempi määrä auringonsäteiden fotoneista saadaan muutettua sähköksi. [73; 74.]

Kuvassa 10 on esitetty aurinkokennoja asennettuna harjakattoisen rakennuksen kattopinnalle, joka on kaltevuutensa vuoksi otollinen asennuspaikka, etenkin jos kattopinta osoittaa kohti etelää.



Kuva 10: aurinkokennoja asennettuna harjakattoisen rakennuksen kattopinnalle [75]

7 Energia Helsingissä

Tässä luvussa käydään läpi energiantuotantoa ja -käyttöä Helsingissä.

Vuonna 2013 kaupungin oman toiminnan energiankulutus oli 1677 gigawattituntia, joka on n. 12 % koko kaupunkialueen energiankulutuksesta, eli pääosa energiasta kuluu

yksityishenkilöiden toimesta mm. kotitalouksissa. Kaupungin omaan energiankulutukseen lasketaan kaupungin hallitsemien kiinteistöjen lisäksi katu- ja liikennevalojen, yleisten alueiden kuten hissien ja sulanapitojärjestelmien sekä liikennejärjestelmien energiankulutus. Kaupungin toiminnan energiankulutuksesta valtaosa, n. 91 prosenttia, muodostuu kiinteistöissä. [76]

7.1 Energiantuotanto kaupungin alueella

Helsinki on Suomen suurimpana kaupunkina myös maamme suurin lämpö- ja sähköenergian kuluttaja. Helsingissä on neljä voimalaitosta: Vuosaari A ja B, Salmisaari A (kuva 11) sekä Hanasaari B, joista Vuosaaren voimalaitokset käyttävät polttoaineenaan maakaasua ja Salmisaaren sekä Hanasaaren voimalaitokset kivihiiltä sekä pellettiä. [77]



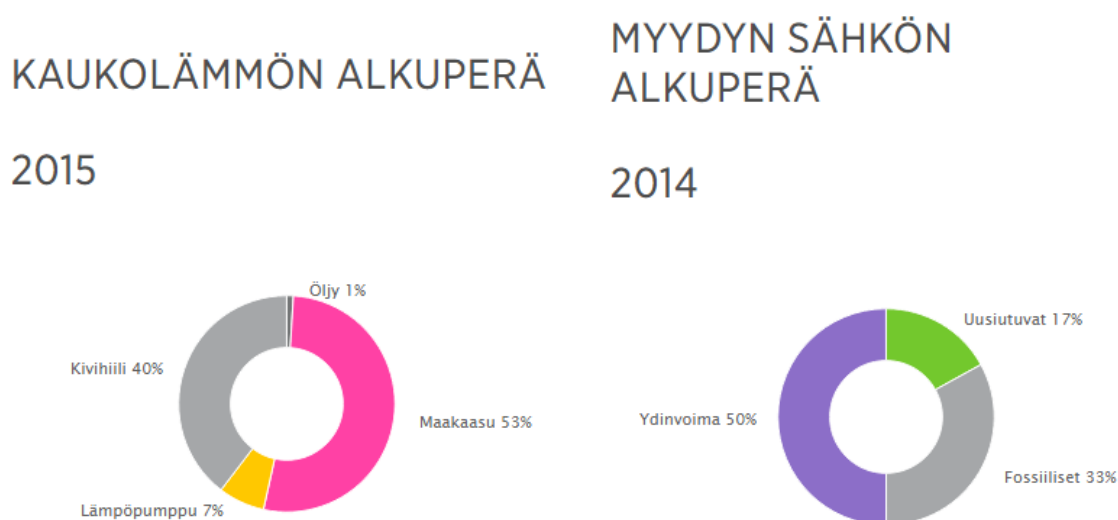
Kuva 11: Salmisaaren voimalaitos [77]

Lämmön erillistuotantoon Helsingissä on 11 lämpökeskusta eri puolilla kaupunkia, joita voidaan ottaa käyttöön kaukolämmön kulutuspiikkien aikana, eli käytännössä kovilla pakkasilla. Lisäksi Katri Valan puiston alla Sörnäisissä on erillinen lämpöpumppulaitos, joka tuottaa lämpö- ja jäähdytysenergiaa hyödyntämällä Viikissä sijaitsevalta jätevedenpuhdistamolta mereen johdettavan jäteveden lämpöenergiaa, niin että

puhdistettu jätevesi kiertää Katri Valan lämpöpumppulaitoksen kautta ennen mereen johdatustaan, luovuttaen lämpö- tai jäähdytysenergiaa kaukolämpö tai – jäähdytysvedelle lämpöpumppulaitoksen lämmönsiirtimissä. Lämmitysenergiana voidaan käyttää myös kiinteistöissä lämmennyt kaukojäähdytyksen paluuvettä, tai jäähdytysenergiana tarvittaessa merivettä. Katri Valan lämpöpumppulaitos on maailman suurin jäteveden lämpöä hyödyntävä laitos. [78; 79.]

Helsingiläiset rakennukset lämpenevät pääosin Helsingin Energian myymällä kaukolämmöllä, joten suurin osa niin kaupungin omistamista kuin yksityisistäkin rakennuksista saa lämpöenergiansa niistä lähteistä, joita Helsingin Energia energiantuotannossaan käyttää. Sähköenergian käytön profiili sen sijaan on erilainen: jokainen voi valita käyttämänsä sähköyhtiön, joten sähköenergian alkuperäkin vaihtelee. [80]

Helsingin Energian myymän kaukolämpö- ja sähköenergian alkuperä energialähteittäin on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12: Energian alkuperä Helsingissä [80]

Uusiutuvan energian osuus on Helsingissä toistaiseksi melko pieni. Pääosin fossiilisilla polttoaineilla käyvien voimalaitosten lisäksi myöskään paikallista uusiutuvan energian tuotantoa ei ole paljon. Kaupungin rakennuksissa on tehty kuitenkin uusiutuvan energian kokeiluhankkeita, ja Helsingin Energian tavoitteena on lisätä uusiutuvan energian tuotantoa tulevaisuudessa sekä tukea mm. aurinkosähkön pientuottajia. [81]

7.2 Hiilidioksidipäästöt

Helsingin Energian tavoitteena on vähentää oman toimintansa hiilidioksidipäästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Se onkin panostanut energiatehokkuuteen ja uusiutuvaan energiaan, mm. korvaamalla kivihiiltä Salmisaaren ja Hanasaaren voimalaitoksissa osin pelletillä. Tavoite vuodeksi 2020 mennessä asetettiin vuonna 2009, ja vuoteen 2016 mennessä hiilidioksidipäästöt olivat Helsingin Energian ilmoituksen mukaan laskeneet jo 22 %. Vuoden 2020 tavoitetta uhkaavat kuitenkin polttoaineiden hintojen ja verotuksen muutokset. [82]

18.2.2016 Tekniikka & Talous -lehti uutisoi, että vastoin Helsingin Energian omaa ilmoitusta olisivat Helsingin hiilidioksidipäästöt päinvastoin kasvaneet 20 % vuosina 2010–2015, johtuen maakaasuun liittyvän verotuksen kovenemisesta, jonka vuoksi maakaasua on korvattu kivihiilellä. Tekniikka & Talous -lehden julkaisema artikkeli pohjautuu konsulttiyhtiö Pöyryn tekemiin tutkimuksiin. [83]

Vuonna 2014 Helsingin Energian energiantuotannon hiilidioksidipäästöt olivat n. $240 \text{ gCO}_2/\text{kWh}$, joka vastaa n. 3 200:aa tonnia. [81, s. 11.]

7.3 Tulevaisuus

Helsingin voimalaitokset omistavan Helsingin Energian tavoitteena on luopua kivihiilen käytöstä vuoteen 2050 mennessä, ja korvata se biopolttoaineilla sekä aurinko- ja tuulivoimalla. [81, s. 4.]

Päästöjen vähentämiseksi kaupunki on laatinut energian loppukulutusta koskevan energiankäytön toimenpidenohjelman, joka vaikuttaa energiaratkaisuihin rakennuksissa. Myös Helsingin Energia on laatinut vastaavan kehitysohjelman, jossa päästöjen vähentämiseen pyritään vaikuttamaan energiantuotannon näkökulmasta. Toimenpide- ja kehitysohjelmat ovat osa EU:n ilmastopolitiikkaa, ja ne ulottuvat vuoteen 2020.

7.3.1 Kestävän energiankäytön toimenpideohjelma

Helsinki on sitoutunut vähentämään hiilidioksidipäästöjään 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Sitoumus perustuu Euroopan unionissa laadittuun

kansainväliseen kaupunkien energia- ja ilmastopöimukseen. Vuonna 2010 Helsinki laati toimenpideohjelman tavoitteeseen pääsemiseksi. Ohjelmassa on energiankäytön tehostamiseksi listattu yhteensä 53 toimenpidettä, joista 19 koskee kaupungin omistamia kiinteistöjä ja rakennuksia. Toimenpiteet ovat luonteeltaan jatkuvia, ns. toimintatavan muutoksia, ei toimenpiteitä, joilla olisi selkeä alkamis- ja päättymisajankohta. [84]

7.3.2 Helsingin Energian toimenpiteet

Myös Helsingin Energia on vuonna 2010 julkaistussa kehitysohjelmassa laatinut suunnitelman energiantuotannon kehityksestä päästöjen vähentämiseksi. Ohjelmassa on esitetty konkreettinen suunnitelma vuoteen 2020 saakka sekä hahmoteltu toiminnan suuntaviivat vuoteen 2050. Helsingin Energian kehitysohjelma perustuu Helsingin kaupungin allekirjoittamaan EU:n kaupunkien energia- ja ilmastopöimukseen, joka velvoittaa myös kaupungeissa tapahtuvan energiantuotannon sitoutumaan tavoitteisiin. Helsingin Energian osalta tavoitteena on laskea energianhankinnan päästöt 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Kehitysohjelman tarkoitus ei kuitenkaan ole ainoastaan edesauttaa vuoden 2020 tavoitteiden toteutuksessa, vaan siinä on tehty tulevaisuuden hahmotelmia myös laajemmasta näkökulmasta. [85]

Keskeinen rooli tavoitteiden toteutumisessa sekä tulevaisuuden energiantuotannossa on uusiutuvan energian osuuden kasvattaminen tuotantorakenteessa ja asteittainen luopuminen kivihilestä.

Kaupunginvaltuuston kokouksessa päätettiin 2.12.2015, että pääosin kivihiiltä polttava Hanasaaren voimalaitos suljetaan vuoteen 2025 mennessä ja se korvataan biolämpökeskuksilla. Tavoitteena on, että vuoteen 2050 mennessä kivihiilen poltosta olisi luovuttu kokonaan. [86]

Kaupungin oman toiminnan osuus koko kaupunkialueen kasvihuonepäästöistä on n. 14 %, ja vaikka kaupunki onnistuisi laskemaan omia päästöjään 20 %, olisi vaikutus kaupunkialueen kokonaispäästöihin vain n. 3 %. Kaupunki voi kuitenkin omalla toiminnallaan toimia suunnannäyttäjänä, sekä mm. kaavoituksen sekä logistisen suunnittelun avulla vaikuttaa myös koko kaupungin alueella aiheutuviin päästöihin. Kaupungin omasta toiminnasta aiheutuvista päästöistä n. 91 % aiheutuu rakennuksissa. [76; 87.]

8 Omavaraissähkö Helsingissä

Tässä luvussa selvitetään, millaista potentiaalia kiinteistökohtaiseen omavaraissähkön tuotantoon liittyy Helsingissä ja mitä tekijöitä siihen vaikuttaa, sekä käydään läpi toteutuneita esimerkkikohteita omavaraissähkön tuotannosta kaupungin alueella. Tarkasteltavaksi on otettu pääosin aurinkosähkö. Muita järjestelmiä on esitelty esimerkkikohteissa niiltä osin, kun niitä on kohteissa hyödynnetty.

8.1 Kaavoituksen vaikutus

Aurinkosähkön hyödynnettävyyteen kullakin alueella vaikuttaa alueen asemakaava. Aurinkosähköpaneelit tulisi suunnata kohti etelää tuotantotehon maksimoimiseksi, mutta alueilla joissa rakennusten julkisivut ovat pääsääntöisesti itä-länsi suunnassa, tämä ei välttämättä ole mahdollista. Näillä alueilla seinäasenteisia aurinkopaneeleja ei voida suunnata kohti etelää, ja myös katolle asennetut paneelit usein joudutaan ulkoisista syistä suuntaamaan rakennuksen suuntauksen mukaisesti. [88]

Kuvassa 13 on esitetty muihin ilmansuuntiin suunnatun aurinkopaneelin sähköntuotto suhteessa etelään suunnattuun paneeliin.

Aurinkopaneelien suuntaus	Tuotto
Itä	75,5 %
Kaakko	92,5 %
Etelä	100,0 %
Lounas	93,9 %
Länsi	77,7 %

Kuva 13: Aurinkopaneelin suuntauskulman vaikutus sähkön tuotantotehoon 40 asteen kulmaan asennetulla kattopaneelilla [88]

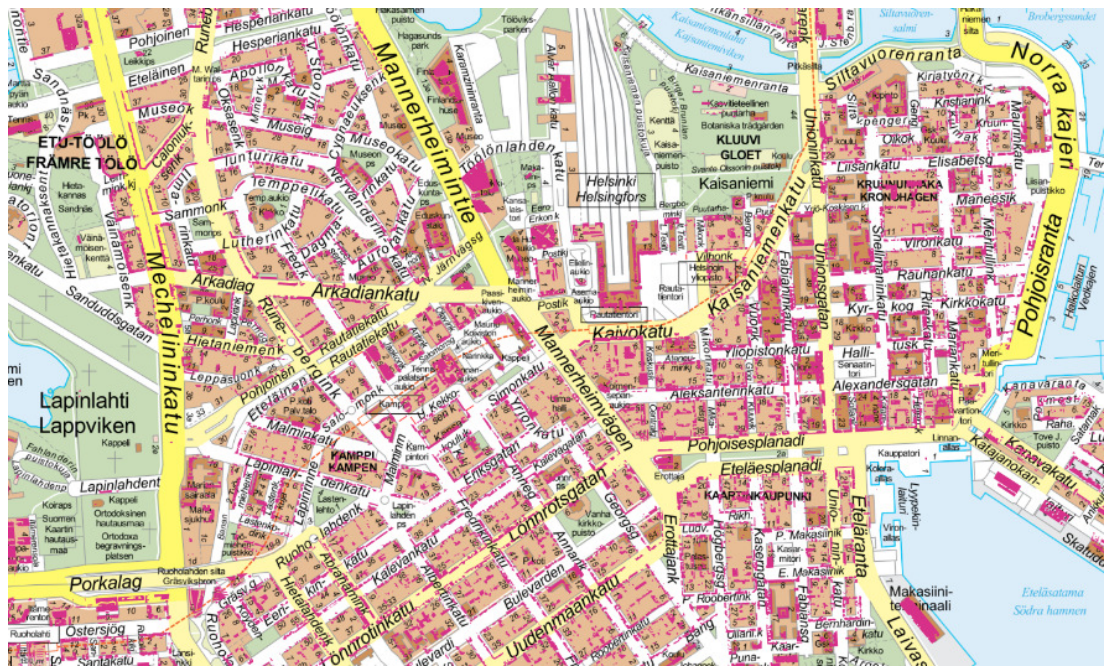
8.2 Aurinkosähkön potentiaali

Tässä alaluvussa on tarkasteltu aurinkosähkön teoreettista potentiaalia vuositason kaupunkin erilaisilla alueilla. Tarkastelussa on hyödynnetty HSY:n tarjoamaa aurinkosähkökarttaa, joka ottaa huomioon mm. kattopinnan muodon, suuntauksen,

puiden ja muiden rakennuksen aiheuttamat varjostukset sekä paneelien tilantarpeen. Aurinkosähkökartassa on alueittain esitetty ensin aurinkopaneeleille soveltuvat kattopinnat niin, että kartassa on näytetty ne katon osat, joille tulee säteilyä yli 847 kWh/vuosi neliömetriä kohti, joiden pinta-ala on vähintään 5 m² sekä etäisyys katon reunasta on yli 0,5 metriä. Sen jälkeen on esitetty alueen potentiaalinen aurinkosähkön vuosituotto megawattitunneissa. Vuosituotto on laskettu aurinkopaneeleille, joiden hyötysuhde on 15 %. Kartassa on esitetty rakennusten vuosituotto >15 MWh asti, mutta esim. kerrostaloissa vuosituotto on usein yli 100 MWh/v ja suurissa teollisuushalleissa se voi olla päälle 1 000 MWh/v. Tämän vuoksi olen merkinnyt karttaan joitain rakennuksia ja esittänyt niiden vuosituoton erikseen. Kerrostaloyhtiöiden kohdalla on laskettu koko kiinteistön/korttelin kattopinta-alat, vaikka todellisuudessa kiinteistö saattaa olla jaettu useamman omistajan kesken.

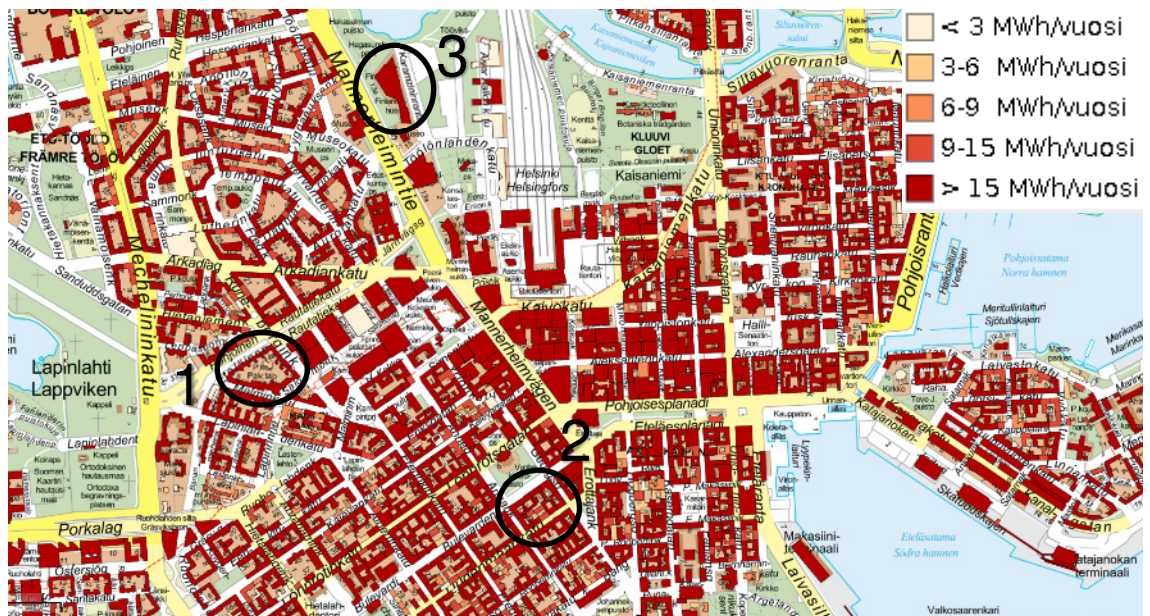
Helsingin ydinkeskusta erottuu kaupungin muusta rakennuskannasta rakennusten keskimääräisen korkeuden ja rakennustiheyden vuoksi. Keskusta-alueen kaavoitus pääsääntöisesti sopii aurinkosähköpaneelien asennusta ajatellen, sillä suurin osa isoista kaduista kulkee joko länsi–itä- tai lounas–koillinen-suunnassa, jolloin rakennusten julkisivut ovat etelä–pohjoinen- tai kaakko–luode-suunnassa. Keskusta-alueella on kuitenkin melko paljon katto- ja seinäpinta-aloja, joita ei voida hyödyntää, sillä tiheään rakentamisen vuoksi ne jäävät auringonsäteiden ulottumattomiin. Lisäksi keskusta-alueella on suojelukohteita, joihin paneeleita ei välttämättä ole mahdollista asentaa.

Kuvassa 14 on esitetty Helsingin ydinkeskustan alueen kattopintojen soveltuvuus aurinkopaneelien asentamiseen.



Kuva 14: Ydinkeskustan kartta, jossa on punaisella värillä merkitty aurinkopaneelien asennukseen sopivat rakennusten kattopinnot [89]

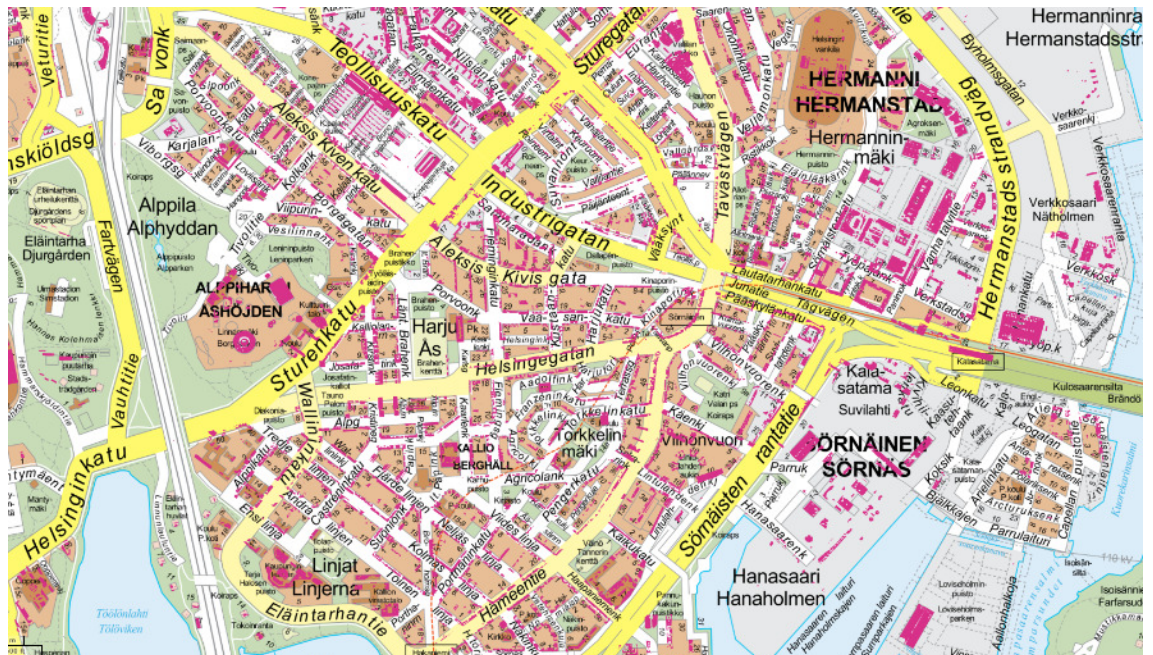
Ydinkeskustan alue sopii hyvin aurinkosähkön tuotantoon. Kuvasta 15 nähdään, että lähes kaikissa rakennusten aurinkoa kohti suuntautuvista pinnoista voitaisiin saada yli 15 megawattitunnin vuotuinen aurinkosähkön tuotantoteho, todellisuudessa paljon suurempikin.



Kuva 15: Aurinkosähkö ydinkeskustassa potentiaalisen tuotantotehon mukaan [89]

1. Kerrostaloyhtiö, Eteläinen Rautatiekatu 16. 307,7 MWh/v
2. Kerrostaloyhtiö, Bulevardi 10, 266,7 MWh/v
3. Finlandia-talo, Mannerheimintie 13, 470,4 MWh/v

Ydinkeskustan lisäksi myös koko kantakaupungin alue kuuluu kaavoitukseltaan, rakennuskannaltaan ja potentiaaliselta aurinkosähkön tuotantoteholtaan samaan luokkaan keskusta-alueen kanssa. Kuvissa 16 ja 17 on esitetty Itäisen Kantakaupungin, eli Alppiharju–Hermannin–Sörnäinen–Kallio-alueen aurinkosähkökartta.



Kuva 16: Itäisen Kantakaupungin kartta, josta näkyvät aurinkopaneelleille sopivat kattopinnot [89]



Kuva 17: Aurinkosähkö Itäisessä Kantakaupungissa potentiaalisen tuotantotehon mukaan [89]

1. Kerrostaloyhtiö, Helsinginkatu 32, 90,7 MWh/v

2. Kerrostaloyhtiö, Pääskylänkatu 11, 225,4 MWh/v
3. Teollisuushalli ”Vallilan makasiinit”, Aleksis Kiven katu 17, 1026 MWh/v

Kantakaupungin alueen aurinkosähkötehopotentiaali on pääosin sovellettavissa suoraan myös kaupungin asuinkerrostaloalueilla. Jokaisen rakennuksen suuntaus ja mahdolliset näköesteet tulee kuitenkin ottaa huomioon erikseen.

Myös pientaloalueilla voidaan parhaimmillaan päästä tuotantotehoon yli 15 MWh/vuosi. Kuvissa 18 ja 19 on esitetty pientalovaltaisen Tapaninvainion asuinalueen mahdolliset paneelien sijoituspaikat sekä kattopinnat tuotantotehon mukaan. Kuvista huomataan kuitenkin, että osa kattopinnoista ei kokonaan sovellu aurinkopaneelien asennukseen ja tuotantoteho jää alhaiseksi. Tämä johtuu mm. rakennusten harjakattoisuudesta, jolloin paneelit täytyy suunnata täysin rakennuksen mukaisesti, ja rakennusten matalasta korkeudesta, jolloin puusto, korkeammat rakennukset tai muut esteet voivat heikentää paneelien tehoa.



Kuva 18: Tapaninvainion kartta, josta näkyy aurinkopaneeleille sopivat kattopinnat [89]



Kuva 19: Aurinkosähkö Tapaninvainiossa potentiaalisen tuotantotehon mukaan [89]

1. Rivitaloyhtiö, Karhusuontie 60, 11,8 MWh/v
2. Rivitaloyhtiö, Rasintie 2, 25,5 MWh/v
3. Omakotitalo, Immolantie 2, 3,9 MWh/v

8.3 Potentiaalin tarkastelu

Aurinkosähkön potentiaalista tuotantotehoa Helsingissä voidaan pitää merkittävänä. Vertailun vuoksi taulukkoon 3 on koottu erilaisten talouksien ja kiinteistöjen keskimääräisiä sähkönkulutuksia vuositasona.

Taulukko 1: Sähkönkulutus vuositasona erilaisissa kotitalouksissa ja kiinteistöissä [90; 91; 92, s. 5; 93, s. 27].

	MWh/v
Sähkölämmitteinen omakotitalo, 120 m ² , 4 hlö	18,5
Asuinkerrostalohuoneisto, 3 hlö	2,4
Liikekiinteistö 1*	737
Liikekiinteistö 2**	455
Liikekiinteistö 3***	1301

* = Työ- ja elinkeinoministeriön Aleksanterinkadun kiinteistö, pinta-ala n. 14300 m², v. 2010

** = Työ- ja elinkeinoministeriön Ratakadun kiinteistö, pinta-ala n. 6700 m², v. 2010

*** = ABB:n Pitäjänmäen kiinteistö, Tellustalo, pinta-ala n. 36000 m² (huoneistoala+autohallit), v. 2010

Aurinkosähköjärjestelmien taloudellinen kannattavuus ja takaisinmaksuaika vaativat kiinteistökohtaisen selvityksen tekemistä, eikä sitä käsitellä tarkemmin tässä työssä. Kannattavuuteen vaikuttaa moni seikka, mm. järjestelmän hyötysuhde, investointikustannukset, ylläpitokustannukset, komponenttien elinikä, rakennuksen sähkönkulutus ja sähkön hinta. Nykyisillä järjestelmillä takaisinmaksuaika on yleensä n. 5–20 vuotta, mutta sitä on vaikea arvioida yleisesti. Lisäksi nykyiset järjestelmät ovat vielä melko kalliita sähkön hintaan nähden. Pientalokäyttöön tarkoitetut paneelit maksavat n. 6 000–10 000 €. Kiinteistökohtainen aurinkosähkö voi kuitenkin nykyäänkin olla taloudellisesti kannattavaa, ja tulevaisuudessa järjestelmien hintojen laskiessa ja hyötysuhteen parantuessa ne tulevat vielä kannattavammiksi. [94; 95.]

8.4 Esimerkkejä omavaraissähkön hyödyntämisestä Helsingissä

Seuraavassa osiossa on esitetty aurinkosähkön pilottikohteita kaupungin alueella.

8.4.1 Sörnäisten Tukkutori

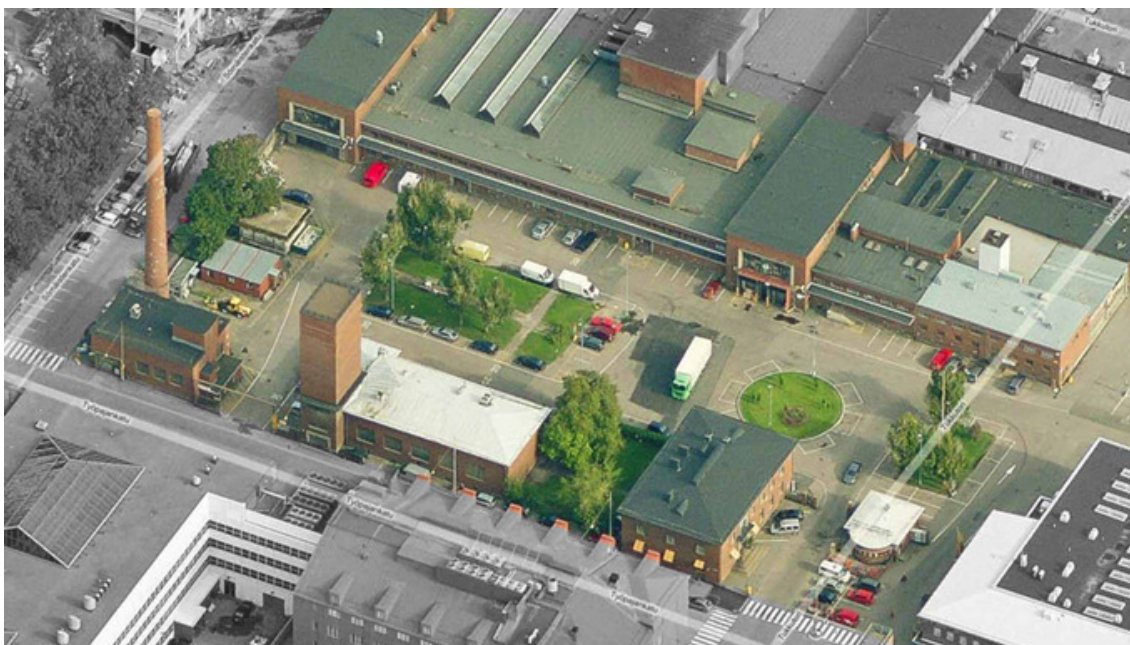
Tukkutori on Helsingin kaupungin hallinnoima torialue Helsingin Sörnäisissä, joka vuokraa toimitiloja sekä maa-alueita tukkukauppioiden käyttöön. Sörnäisten torialueen hallinnoimisen lisäksi Tukkutori vastaa myös muiden kaupungin torien ja kauppahallien vuokraustoiminnasta. Tukkutorin toiminnassa korostuvat ympäristömyönteisyys ja kestävä kehitys, kuten myös mm. lähiruoan käyttö pääkaupunkiseudun pienten- ja keskisuurten ravintola-alan yrittäjien näkökulmasta, jotka hakevat Tukkutorin ruokatukuista mm. lihaa ja vihanneksia. [96]

Tukkutorille laadittiin vuonna 2012 hankesuunnitelma koskien aurinkosähkön tuotantoa Sörnäisten torialueella, joka kuitenkin kaatui rahoituksen puutteeseen. Vuonna 2014 Aalto-yliopiston aloittamasta, aurinkosähkön investointien edistämiseen keskittyvästä FinSolar-hankkeesta Tukkutorin hanke sai kuitenkin uutta nostetta, ja 30.1.2015 laadittiin uusi hankekuvaus aurinkosähköstä torialueelle. Hankkeen tarkoituksena on toteuttaa torialueen kiinteistöihin integroitu aurinkosähköjärjestelmä. Alueella on yhteensä n. 20 kiinteistöä, joista noin puolet omistaa Helsingin kaupunki ja puolet on yksityisessä omistuksessa. Kiinteistöissä toimii noin 130 yritystä, joista suurin osa ruokatukkuja ja ravintoloita. Jos alueen kaikki kattopinta-alat saataisiin hyödynnettyä aurinkosähkön tuotantoon, saataisiin laskelmien mukaan alueella tuotettua noin 1 megawatti

sähköenergiaa. Tämä vaatisi kuitenkin että myös alueen yksityiset toimijat lähtisivät hankkeeseen mukaan, ja alustavasti he ovatkin ilmaisseet halukkuutensa. [96]

Tukkutorin alue soveltuu hyvin aurinkosähköhankkeen kohteeksi, sillä kyseessä on laaja, aukea alue, jossa rakennusten edessä ei ole korkeampia rakenteita tai maastoesteitä. Alueella toimivissa ruoka-alan liikkeissä on myös sähkönkulutus suurinta kesäaikaan, sillä kylmävarastot kuluttavat eniten sähköä kesäisin, jolloin myös aurinkosähkön saanti on suurinta. Kokonaista korttelialuetta koskeva aurinkosähköhanke olisi myös ensimmäinen laatuaan Helsingissä, ja tarkoituksena olisi hyödyntää hankkeessa opittua jatkossa samankaltaisissa hankkeissa. [96]

Kuvassa 20 näkyy Tukkutorin ns. teurastamon aluetta ja alueen kattopintoja.



Kuva 20: Tukkutorin ns. teurastamon alue. Kuvassa näkyy laakeat kattopinnat, jotka ovat otollisia aurinkopaneelien sijoituspaikkoja. [97]

Tukkutorin aurinkosähköhankkeen on tarkoitus edetä FinSolar-hankkeen myötä. Kysymysmerkkinä on kuitenkin edelleen rahoituksen järjestäminen. Rahoitusmalleiksi on mietitty mm. 10–15 vuoden pituisen lainan ottamista, osamaksukauppaa, jossa aurinkovoimalan hinta maksettaisiin rahoittajalle sovituissa maksuerissä tai kuluttajilta kerättävää joukkorahoitusta. Ennen hankkeen edistymistä on myös selvítettävä alueen yritysten sähkönkulutus ja rakennusten tekniset edellytykset. [96]

8.4.2 Viikin ympäristötalo

Viikin ympäristötalo on syyskuussa 2011 Helsingin Viikkiin valmistunut viisikerroksinen toimitalo, jossa sijaitsee Helsingin kaupungin ympäristökeskus sekä Helsingin yliopiston toimipiste. Sen bruttoala on noin 6 800 neliometriä. Se on Suomen vähiten energiaa kuluttava toimitalo. Alhaiseen energiankulutukseen on päästy useiden toimien avulla, mm. eristämällä rakennus tavanomaista paksummilla eristeillä lämpöhäviöiden minimoimiseksi, käyttämällä ikkunoissa energiatehokkaita lämpölaseja sekä jäähdyttämällä rakennus omalle tontille poratuista kaivoista saatavalla jäähdytysenergialla. Suuri energiaa säästävä tekijä on myös sähkön omavaraistuotanto, joka on toteutettu aurinkosähköpaneelien ja tuulisähköturbiinien avulla. [98; 99; 100.]

Rakennuksessa on aurinkosähkön kannalta optimaalinen etelään suunnattu kaksoisjulkisivu, jonka ulompi pinta koostuu aurinkopaneeleista. Aurinkopaneeleita on yhteensä noin 570 neliometriä, ja niitä on sijoitettu julkisivun lisäksi myös katolle. Aurinkosähkön maksimiteho kiinteistössä on noin 60 kW, mikä vastaa noin 20 % ympäristötalon kokonaissähköntarpeesta. Aurinkosähkön lisäksi sähköä tuotetaan myös neljän katolle sijoitetun tuuliturbiinin avulla, jotka tuottavat sähköä rakennuksen turvavaloille. [98; 100.] Kuvassa 21 näkyy ympäristötalon julkisivua ja katolle asennetut tuuliturbiinit.



Kuva 21: Viikin ympäristötalo. Aurinkoa kohti suuntautuvassa julkisivussa näkyy aurinkosähköpaneeleita, ja vesikatolla neljä tuuliturbiinia. [99]

Viikin ympäristötalossa on käytössä Suomen ensimmäinen älykäs sähkövarasto. Se otettiin käyttöön joulukuussa 2015. Älykäs sähkövarasto tarkoittaa akustoa, johon voidaan varastoida kiinteistössä tuotettua aurinkosähköä ja optimoida sen avulla rakennuksen energiankulutusta. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että varastoitua sähköä voidaan syöttää yleiseen sähköverkkoon silloin, kun sähkön hinta on kalleimmillaan ja ladata sähköä varastoon silloin, kun se on halpaa. [98]

Viikin ympäristötalosta saatuja energiatehokkaan rakentamisen kokemuksia on tarkoitus hyödyntää tulevaisuudessa Helsingin kaupungin uusien toimitilojen suunnittelussa ja rakentamisessa.

8.4.3 Ilmatieteen laitos, Kumpula

Ilmatieteen laitoksen päätoimipiste sijaitsee Helsingin Kumpulassa ns. Dynamicum-talossa (kuva 22), joka valmistui syyskuussa 2005. Huoneistoalaa rakennuksessa on noin 23000 neliömetriä. Ilmatieteen laitos tuottaa ilmakehä- ja meriaiheista tutkimusta sekä säähavaintoja. Vuonna 2015 Kumpulan toimipisteessä aloitettiin myös aurinkosähkötutkimuksen tekeminen asentamalla 80 aurinkopaneelia rakennuksen katolle. Aurinkovoimalan avulla on tarkoitus saada tarkkaa tietoa siitä, miten esimerkiksi erilaiset sääolot tai pienhiukkasten määrä vaikuttavat aurinkovoiman tuotantomäärään. Aikaisemmin Ilmatieteen laitos on tutkinut aurinkosähkön potentiaalin jakautumista maantieteellisesti, mutta aurinkovoimalan avulla saadaan tarkkaa tietoa tekijöistä, jotka vaikuttavat aurinkovoiman tuotantoon. Kumpulan aurinkovoimalaitoksessa tuotettua sähköenergiaa hyödynnetään lisäksi Ilmatieteen laitoksen omassa energiankulutuksessa. Kumpulan aurinkovoimalan teho on noin 20 kW. [101; 102.]



Kuva 22: Ilmatieteen laitoksen päätoimipiste Kumpulassa [103]

Kuvassa 23 näkyy Ilmatieteen laitoksen Dynamicum-talon katolle asennettuja aurinkopaneeleita.



Kuva 23: Aurinkosähköpaneeleita Ilmatieteen laitoksen katolla [104]

9 Yhteenveto

Tässä insinöörityössä selvitettiin uusiutuvan energian nykyistä tilaa yleisesti ja aurinkosähkön käyttömahdollisuuksia Helsingissä. Työssä lähdettiin liikkeelle energiantuotannon perusteista ja edettiin uusiutuvaan energiaan käsitteenä sekä tarkasteltiin sitä eri näkökulmista. Tämän kautta oli helppo siirtyä tarkastelemaan energiankäyttöä ja uusiutuvaa energiaa Helsingissä, mikä taas loi pohjan omavaraissähkön potentiaalin tutkimiselle.

Uusiutuvan energian käyttö energiantuotannossa on kasvussa niin teollisessa kuin kiinteistökohtaisessakin mittakaavassa. Tällä hetkellä osa järjestelmistä vaatii vielä valtiollista tukea ollakseen kannattavia, mutta volyymien kasvaessa myös kustannukset tulevat oletettavasti laskemaan kilpailukykyisiksi.

Työtä tehdessä selvisi, että Helsingissä on tällä hetkellä paljon käyttämätöntä aurinkosähköpotentiaalia. Saatuja tuloksia voi käyttää apuna esimerkiksi aurinkosähkijärjestelmän kannattavuuslaskelmissa. Tällä hetkellä aurinkosähkijärjestelmät ovat jo taloudellisesti kilpailukykyisiä, minkä lisäksi ne parantavat rakennuksen energiatehokkuutta ja imagoa, jotka taas vaikuttavat rakennuksen arvoon. Tulevaisuudessa, järjestelmien kehittyessä, aurinkosähkö muuttuu yhä kannattavammaksi sijoitukseksi. Uskon, että myös kaupunki tulee pilottikohteiden myötä panostamaan lähitulevaisuudessa yhä enemmän aurinkosähkөөn omissa rakennuksissaan.

Lähteet

- 1 World Energy Consumption Since 1820 in charts. 2012. Verkkodokumentti. Our Finite World. <https://ourfinitemworld.com/2012/03/12/world-energy-consumption-since-1820-in-charts/>. Luettu 12.1.2016.
- 2 Renewables 2015 Global Status Report. Renewable Energy Network for the 21st Century.
- 3 Background information about renewable energy, climate change and the electricity market. 2014. Verkkodokumentti. EKOenergy. <http://www.ekoenergy.org/wp-content/uploads/2014/07/General_background_information.pdf>. Luettu 12.1.2016.
- 4 Himmanen Juuso. 2013. Verkkodokumentti. Energiavarat ja niiden riittävyys. Kandidaatintutkielma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/94451/Energiavarat%20ja%20niiden%20riitt%C3%A4vyys%201.4.pdf?sequence=2>. Luettu 13.1.2016.
- 5 Sähkön ja lämmön tuotanto 2012. 2013. Verkkodokumentti. Tilastokeskus. <https://www.stat.fi/til/salatuo/2012/salatuo_2012_2013-11-05_fi.pdf>. Luettu 12.1.2016.
- 6 Energiantuotanto Helsingissä. 2015. Verkkodokumentti. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/>>. Luettu 12.1.2016.
- 7 Hirvonen Katariina. 2015. Verkkodokumentti. Hajautettu uusiutuva energiantuotanto – haihattelua vai tulevaisuutta?. Opinnäytetyö. Turun Ammattikorkeakoulu. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/96131/HirvonenKatariina_opinnaytetyo.pdf?sequence=1. Luettu 25.1.2016.
- 8 Vihanninjoki Vesa. 2015. Hajautettu energiantuotanto Suomessa. Helsinki. Suomen ympäristökeskus SYKE.
- 9 Wallin, Matti. 2012. Verkkodokumentti. Pienen kokoluokan CHP-tuotannon kannattavuus kunnallisen lämpölaitoksen yhteydessä. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/79909/Pienen%20kokoluokan%20CHP%20tuotannon%20kannattavuus%20kunnallisen%20l%C3%A4mp%C3%B6laitoksen%20yhteydess%C3%A4_Matti%20Wallin_22.8.2012.pdf?sequence=1. Luettu 21.1.2016.
- 10 Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla. 2010. Motiva Oy, loppuraportti.
- 11 Kairamo Anna. 2012. Verkkodokumentti. Hajautetun energiantuotannon edistäminen Pirkanmaalla. Pro gradu -tutkielma. Tampereen yliopisto. <https://tampub.uta.fi/bitstream/handle/10024/83779/gradu06069.pdf?sequence=1>. Luettu 10.2.2016.

- 12 A brief history of energy use. 2012. Verkkodokumentti. Energybc.
<<http://www.energybc.ca/matters/historyofenergyuse.html>>. Luettu 12.1.2016.
- 13 The History of Energy Use. 2011. Verkkodokumentti. Ecology Global Network.
<<http://www.ecology.com/2011/09/03/the-history-of-energy-use/>>. Luettu 13.1.2016.
- 14 The End of Fossil Fuels. 2015. Verkkodokumentti. Ecotricity.
<<https://www.ecotricity.co.uk/our-green-energy/energy-independence/the-end-of-fossil-fuels>>. Luettu 13.1.2016.
- 15 Fay Marianne; Hallegette Stephane; Vogt-Schilb Adrien; Rozenberg Julie; Narloch Ulf; Kerr Tom. 2015. Decarbonizing development. Washington DC. World Bank.
- 16 Energiaa uusiutuvasti. 2014. Motiva oy, esite.
- 17 Types of Renewable Energy. 2015. Verkkodokumentti. Renewable energy world.
<<http://www.renewableenergyworld.com/index/tech.html>>. Luettu 13.1.2016.
- 18 Renewables Global Futures Report. 2013. REN21.
- 19 Energian hankinta ja kulutus 2014, 4. vuosineljännes, liitekuvio 13. 2015. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2014/04/ehk_2014_04_2015-03-23_kuv_013_fi.html>. Luettu 13.1.2016.
- 20 Energian hankinta ja kulutus 2014, 4. vuosineljännes, liitekuvio 7. 2015. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2014/04/ehk_2014_04_2015-03-23_kuv_007_fi.html>. Luettu 13.1.2016.
- 21 Energian hankinta ja kulutus 2015 2. neljännes. 2015. Helsinki. Tilastokeskus.
- 22 Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. 2014. Verkkodokumentti. Lappeenranta University of Technology. <http://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>. Luettu 19.1.2016.
- 23 Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. 2013. Helsinki. Työ- ja elinkeinoministeriö.
- 24 Energia- ja ilmastostrategiat. 2015. Verkkodokumentti. Työ- ja elinkeinoministeriö. <https://www.tem.fi/energia/energia-ja_ilmastostrategiat>. Luettu 19.1.2016.
- 25 Syöttötariffi. 2015. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/syottotariffi>. Luettu 19.1.2016.
- 26 Marja-aho Lauri. 2011. Verkkodokumentti. Uusiutuvan energian tuet EU-maissa. Erikoistyö. Energiateollisuus.
http://energia.fi/sites/default/files/energiateollisuus_raportti_28_9_2011_2.pdf. Luettu 5.2.2016.

- 27 Investointituet uusiutuvalle energialle. 2015. Verkkodokumentti. Motiva. <http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle>. Luettu 19.1.2016.
- 28 Sillanpää Jarkko. 2015. Tuulivoiman syöttötariffijärjestelmän kritiikki ja vaikutukset investointeihin Suomessa. Kandidaatintutkielma. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- 29 Urho Aleks. 2013. Verkkodokumentti. Tuulivoiman syöttötariffijärjestelmän toimivuus ja tuulivoiman esteet Suomessa. Maisterin tutkinnon tutkielma. Aalto-yliopiston Kauppakorkeakoulu. http://epub.lib.aalto.fi/en/ethesis/pdf/13426/hse_ethesis_13426.pdf. Luettu 5.2.2016.
- 30 Lemminkäinen tuulipuisto vaarassa jäädä ilman tukia. 2015. Verkkodokumentti. Etelä-Saimaa. <<http://www.esaimaa.fi/Online/2015/07/22/Lemminkäinen%20tuulipuisto%20vaarassa%20j%C3%A4d%C3%A4%20ilman%20tukia/2015119330722/4>>. Luettu 20.1.2016.
- 31 Global trends in sustainable energy investment 2010. 2010. Verkkodokumentti. Bloomberg. http://www.unep.org/pdf/dtie/GlobalTrendsSustainableEnergy_2010.pdf. Luettu 10.2.2016.
- 32 Renewable Energy Provides 6.5 Million Jobs Globally. 2014. Verkkodokumentti. Global Wind Energy Council. <<http://www.gwec.net/renewable-energy-provides-6-5-million-jobs-globally-new-study-irena/>>. Luettu 20.1.2016.
- 33 Renewables 2015 Global Status Report. 2015. REN21.
- 34 International energy statistics. 2014. Verkkodokumentti. U.S. Energy Information Administration. <<http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm>>. Luettu 20.1.2016.
- 35 Hydropower. 2015. Verkkodokumentti. Statkraft. <http://www.statkraft.com/energy-sources/hydropower/>. Luettu 20.1.2016.
- 36 China – Energy Policy, Laws and Regulation Handbook Volume 1, Strategic Information and Basic Laws. 2015. International Business Publications.
- 37 Energy and Advanced Coal Utilization Strategy in China. 2005. Verkkodokumentti. Tsinghua University. <http://gcep.stanford.edu/pdfs/RxsY3908kaqwVPacX9DLcQ/niweidou_coal_mar05.pdf>. Luettu 28.1.2016.
- 38 China shows there's more to renewable energy than fighting climate change. 2014. Verkkodokumentti. The Conversation. <<http://theconversation.com/china-shows-theres-more-to-renewable-energy-than-fighting-climate-change-31471>>. Luettu 28.1.2016.
- 39 China Renewable Energy Outline 2012. 2012. China National Renewable Energy Centre.

- 40 Renewable Energy. 2015. Verkkodokumentti. United States National Centre of Renewable Energy. <http://usncre.org/>. Luettu 28.1.2016.
- 41 Hannoush Anthony; Mikeloni Anthony; Waddel Julie. 2015. Power Generation by Rowing on an Ergometer. Worcester Polytechnic Institute.
- 42 President Obama Calls for Greater Use of Renewable Energy. 2009. Verkkodokumentti. Energy Efficiency Renewable Energy. <http://apps1.eere.energy.gov/news/news_detail.cfm/news_id=12194>. Luettu 2.2.2016.
- 43 Brazil's Wind Power Auction Spurs More Clean Energy Development. 2009. Verkkodokumentti. Renewable Energy World. <<http://www.renewableenergyworld.com/articles/2009/12/brazils-wind-power-auction-spurs-more-clean-energy-development.html>>. Luettu 2.2.2016.
- 44 Brasilia on uusiutuvan energian suurvalta. 2012. Verkkodokumentti. Ulkoasiainministeriö. <<http://formin.finland.fi/public/default.aspx?contentid=257903&contentlan=1&culture=fi-FI>>. Luettu 3.2.2016.
- 45 Sweetening the biofuel sector. 2015. Verkkodokumentti. Bioenergyconnection. <<http://bioenergyconnection.org/article/sweetening-biofuel-sector-history-sugar-cane-ethanol-brazil>>. Luettu 3.2.2016.
- 46 Share of renewables in energy consumption in the EU rose further to 16% in 2014. 2016. Verkkodokumentti. Eurostat. <<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7155577/8-10022016-AP-EN.pdf/38bf822f-8adf-4e54-b9c6-87b342ead339>>. Luettu 3.2.2016.
- 47 Renewable energy in Germany generated almost double the amount from nuclear. 2015. Verkkodokumentti. Clean Technica. <<http://cleantechnica.com/2015/10/29/renewable-energy-in-germany-generated-almost-double-the-amount-from-nuclear/>>. Luettu 3.2.2016.
- 48 European renewable energy incentive guide – Germany. 2013. Verkkodokumentti. Norton Rose Fulbright. <<http://www.nortonrosefulbright.com/knowledge/publications/66180/european-renewable-energy-incentive-guide-germany>>. Luettu 3.2.2016.
- 49 Uusiutuvien energiamuotojen tuki nosti sähkön hinnan pilviin Saksassa. 24.1.2014. Verkkodokumentti. Helsingin Sanomat. <<http://www.hs.fi/ulkomaat/a1390545745297>>. Luettu 5.2.2016.
- 50 Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa. 2014. Verkkodokumentti. Lappeenranta University of Technology. <http://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa>. Luettu 5.2.2016.
- 51 Ketonen Joonas. 2012. Maalämpö lämpöenergian tuottajana. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- 52 Rakennusten lämmityksen ilmastovaikutukset. 2015. Verkkodokumentti. Ilmasto-opas. <<http://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/73fa2827-42d1-4fd7-a757-175aca58b441>>. Luettu 5.2.2016.

- 53 Lämpöpumppu. 2015. Verkkodokumentti. Dimplex.
<<http://www.dimplex.de/fi/ammattilaisille/tekniikan-selitykset/laempeopumput/naein-laempeopumppu-toimii.html>>. Luettu 5.2.2016.
- 54 Geoterminen Energia. 2011. Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto.
<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4050/seminarit11/ryhma14_geoterminen.pdf>. Luettu 5.2.2016.
- 55 Global Wind Energy Outlook. 2014. Verkkodokumentti. Greenpeace.
http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2014/10/GWEO2014_WEB.pdf. Luettu 25.2.2016.
- 56 Tanskassa ennätysvuosi: 40 % sähköstä tuotettiin tuulivoimalla. 11.1.2015. Verkkodokumentti. Tekniikka & Talous.
<<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2015-01-11/Tanskassa-enn%C3%A4tysvuosi-40--s%C3%A4hk%C3%B6st%C3%A4-tuotettiin-tuulivoimalla-3258185.html>>. Luettu 5.2.2016.
- 57 Tuulen voimalla Suomessa. 2010. Verkkodokumentti. Motiva oy.
http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/tuulen_voimalla_suomessa.1027.shtml. Luettu 25.2.2016.
- 58 Taustamateriaalia kalvosarjaan. Verkkodokumentti. Ilmasto.org.
<http://ilmasto.org/media/ilmari/kalvojen_tauostamateriaali_2005_kuvat.pdf>. Luettu 10.2.2016.
- 59 Laaksonen Hannu; Repo Sami. Tuulivoimateknologia sähkönjakeluverkossa. 2003. Tampere. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 60 Tuulivoimateknologia. 2014. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/tuulivoima/tuulivoimateknologia>. Luettu 10.2.2016.
- 61 Pientuulivoimalan tekniikka. 2015. Verkkodokumentti. Tuulivoimayhdistys.
<<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/pientuulivoima/pientuulivoimalan-tekniikka>>. Luettu 10.2.2016.
- 62 Tuulivoimalaitos. 2015. Verkkodokumentti. Tuulivoimaopas.
<<http://www.tuulivoimaopas.fi/tuulivoima-suomessa/tuulivoimalaitos>>. Luettu 10.2.2016.
- 63 Tuulivoimaloiden rakenne. 2015. Verkkodokumentti. Tuulivoimayhdistys.
<<http://www.tuulivoimayhdistys.fi/tietoa-tuulivoimasta/tietoa-tuulivoimasta/tuulivoimateknikka/tuulivoimaloiden-rakenne>>. Luettu 10.2.2016.
- 64 R&D ~ Wind Power. 2013. Verkkodokumentti. Vattenfall.
<http://corporate.vattenfall.com/about-vattenfall/operations/research-and-development/wind-power/>. Luettu 13.1.2016
- 65 Energie. 2015. Verkkodokumentti. Enterprise Greece.
<http://www.enterprisegreece.gov.gr/default.asp?pid=38&la=3>. Luettu 13.1.2016

- 66 Aurinkoenergia. 2015. Verkkodokumentti. Energiateollisuus.
<<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/aurinkoenergia>>. Luettu 11.2.2016.
- 67 Aurinkosähkö sopii yllättävän hyvin Suomeen. 18.4.2008. Verkkodokumentti. Tekniikka & Talous. <<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/2008-04-18/Aurinkos%C3%A4hk%C3%B6-sopii-yll%C3%A4tt%C3%A4v%C3%A4n-hyvin-Suomeen-3307458.html>>. Luettu 11.2.2016.
- 68 Auringosta lämpöä ja sähköä. 2014. Verkkodokumentti. Motiva oy.
[http://www.motiva.fi/files/10585/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_\(2014\).pdf](http://www.motiva.fi/files/10585/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa_(2014).pdf).
Luettu 15.2.2016.
- 69 Takala Antti. 2011. Aurinkolämmitys. Kandidaatintutkielma. Lappeenranta.
Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- 70 Tietoa aurinkokeräimistä. 2016. Verkkodokumentti. Aurinkopuisto.
<<http://www.aurinkopuisto.com/Tietoa-aurinkoker%C3%A4imist%C3%A4.php>>. Luettu 11.2.2016.
- 71 Solar Collectors. 2015. Verkkodokumentti. Solarskies. <http://www.solar-skies.com/products/solar-collectors>. Luettu 13.1.2016.
- 72 Hybridilämmitys tuli taloyhtiöön: aurinkolämpöä ja maalämpöä. 2010. Verkkodokumentti. Suomela. <http://www.suomela.fi/lammitys-lvis/Lammitys-energiaAnna/Hybridilammitys-tuli-taloyhtioon-aurinko--ja-maalampoa--51175>
Luettu 13.1.2016.
- 73 RT-kortti 70-10477, Aurinkosähkö. 1992. Rakennustieto.
- 74 Aurinkosähköteknologiat. 2014. Verkkodokumentti. Motiva.
<http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat>. Luettu 11.2.2016.
- 75 Energy Panels. 2015. Verkkodokumentti. Energypanelsolar.
<http://energypanelssolar.tk/solar-energy-and-solar-cells-2/>. Luettu 13.1.2016.
- 76 Kaupungin oman toiminnan energiankulutus. 2014. Verkkodokumentti. Energiatehokashelsinki.fi.
<<http://www.energiatehokashelsinki.fi/energiankulutus/Helsinki/kaupungin-oma-energiankulutus>>. Luettu 15.2.2016.
- 77 Voimalaitokset. 2015. Verkkodokumentti. Helen Oy. <https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/voimalaitokset/>. Luettu 15.2.2016.
- 78 Energiantuotanto Helsingissä. 2016. Verkkodokumentti. Helen Oy.
<https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/>. Luettu 15.3.2016.
- 79 Katri Valan lämpöpumppulaitos. 2015. Verkkodokumentti. Helen Oy.
<https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/voimalaitokset/katri-vala/>. Luettu 15.2.2016.

- 80 Energian alkuperä. 2015. Verkkodokumentti. Helen Oy.
<<https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/energian-alkupera/>>. Luettu 15.2.2016.
- 81 Vastuullisuusraportti. 2014. Verkkodokumentti. Helsinki. Helen Oy.
https://www.helen.fi/uutiset/2015/vuosikertomus_julkaistu/~link/71a2fadf238d4c0698c0893f2edc6f19.aspx. Luettu 20.1.2016.
- 82 Päästöt vähentyneet Helsingissä merkittävästi. 2016. Verkkodokumentti. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/uutiset/2016/paastot-vahentyneet-helsingissa-merkittavasti/>>. Luettu 15.2.2016.
- 83 Energiaverouudistuksen seurauksena – Suurten suomalaiskaupunkien CHP-laitosten CO₂-päästöt kasvaneet 20 % viidessä vuodessa. 2016. Verkkodokumentti. Tekniikka & Talous.
<<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/energiaverouudistuksen-seurauks-suurten-suomalaiskaupunkien-chp-laitosten-co2-paastot-kasvaneet-20-viudessa-vuodessa-6304942>>. Luettu 15.2.2016.
- 84 Kestävän energiankäytön toimenpideohjelma. 2010. Helsinki. Helsingin kaupunki.
- 85 Helsingin Energian kehitysohjelma kohti hiilineutraalia tulevaisuutta. 2010. Helsinki. Helen oy.
- 86 Helen Oy:n kehitysohjelma, Päätös. 2015. Verkkodokumentti. Helsinki. Helen Oy.
<http://dev.hel.fi/paatokset/asia/hel-2015-007449/kvsto-2015-20/>. Luettu 16.2.2016.
- 87 Energiankulutus on kasvanut Helsingissä. 2010. Verkkodokumentti. Energiatehokashelsinki.fi.
<http://www.energiatehokashelsinki.fi/energiankulutus/keskustelun-saannot>. Luettu 16.2.2016.
- 88 Aurinkosähköenergian ostajan muistilista – aurinkosähköhankkeen suunnittelu ja toteutus. 2015. Verkkodokumentti. Finnwind.
<http://www.finnwind.fi/aurinkoenergia>. Luettu 16.2.2016.
- 89 Karttapalvelu. HSY. <http://kartta.hsy.fi/>
- 90 Sähkönkulutus omakotitalossa. 2015. Verkkodokumentti. Vattenfall.
<http://www.vattenfall.fi/fi/omakotitalo.htm>. Luettu 14.3.2016.
- 91 Sähkönkulutus kerrostalossa. 2015. Verkkodokumentti. Vattenfall.
<http://www.vattenfall.fi/fi/kerrostalo.htm>. Luettu 14.3.2016.
- 92 Työ- ja elinkeinoministeriön energiatehokkuussuunnitelma. 2011. Verkkodokumentti. Motiva. http://www.motiva.fi/files/4350/Tyo-ja_elinkeinoministerion_energiatehokkuussuunnitelma_TEM_raportti_18-_2011.pdf. Luettu 14.3.2016.
- 93 Kosonen Ella. 2010. Toimistorakennuksen energiakulutustarkastelu. Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

- 94 Usein kysyttyä aurinkopaneeleista. 2015. Verkkodokumentti. Vattenfall.
<http://www.vattenfall.fi/fi/usein-kysyttya-aurinkopaneeleista.htm>. Luettu 15.4.2016.
- 95 Aurinkopaneeli omakotitaloon. Verkkodokumentti. Vattenfall.
<http://www.vattenfall.fi/fi/aurinkopaneeli-omakotitaloon.htm#l>. Luettu 15.4.2016.
- 96 Eskelinen Sirpa, 2015, Aurinkosähköä Helsingin Tukkutorille luentoesitys. Finsolar-hankkeen Aurinkomarkkinat vauhtiin! -seminaari.
- 97 Uusi kaupunkiviljelmä Tukkutorin teurastamon pihalle. 2012. Verkkodokumentti. Kaupunkiviljely. <<http://kaupunkiviljely.fi/uusi-kaupunkiviljelma-tukkutorin-teurastamon-pihalle/>>. Luettu 18.2.2016.
- 98 Viikin ympäristötalo. 2015. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki.
<<http://www.hel.fi/www/ymk/fi/Ymparistokeskus+palvelee/ymparistotalo/>>. Luettu 7.3.2016.
- 99 Viikin ympäristötalo – Suomen vähiten energiaa kuluttava toimistorakennus. 2015. Verkkodokumentti. Stadin ilmasto. <http://www.stadinilmasto.fi/hyvia-esimerkkeja/viikin-ymparistotalo-suomen-vahiten-energiaa-kuluttava-toimistorakennus/>. Luettu 7.3.2016.
- 100 Viikin ympäristötalo. 2015. Verkkodokumentti. Green building council Finland.
<http://figbc.fi/tietopankki/viikin-ymparistotalo/>. Luettu 8.3.2016.
- 101 Dynamicum-talo vihittiin käyttöön. 2005. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedote/1131448240>>. Luettu 8.3.2016.
- 102 Ilmatieteen laitos tutkii säätilanteiden vaikutusta aurinkoenergian tuotantoon oman aurinkovoimalan avulla. 2015. Verkkodokumentti. Ilmatieteen laitos.
<http://ilmatieteenlaitos.fi/ajankohtaista/-/journal_content/56/30106/96370866>. Luettu 8.3.2016.
- 103 Ilmatieteen laitoksella miljoonasäästöt – mittavat yt:t edessä. 2015. Verkkodokumentti. <<http://www.hs.fi/kotimaa/a1424664498536>>. Luettu 8.3.2016.
- 104 Aurinkomarkkinat vauhtiin! –seminaari. 24.9.2015. 2015. Verkkodokumentti.
<http://www.lahienenergia.org/tapahtumat/aurinkomarkkinat-vauhtiin-seminaari-24-9-2015/>. Luettu 12.2.2016.